

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE VETERINARIA



**NUEVOS BIOCARBURANTES Y SOSTENIBILIDAD: PERFIL
TOXICOLÓGICO, CARACTERIZACIÓN DE LA "JATROPHA
CURCAS" Y SU UTILIZACIÓN SOSTENIBLE EN PAÍSES EN
DESARROLLO**

**MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR
PRESENTADA POR**

Elisa Barahona Nieto

Bajo la dirección de los doctores

Arturo Anadón Navarro
Víctor Castellano Santos
Pedro Díaz Peralta

Madrid, 2013

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE VETERINARIA



**NUEVOS BIOCARBURANTES Y SOSTENIBILIDAD:
PERFIL TOXICOLÓGICO, CARACTERIZACIÓN DE LA
JATROPHA CURCAS Y SU UTILIZACIÓN SOSTENIBLE EN
PAÍSES EN DESARROLLO**

TESIS DOCTORAL

ELISA BARAHONA NIETO

MADRID, 2012

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE VETERINARIA

**NUEVOS BIOCARBURANTES Y SOSTENIBILIDAD:
PERFIL TOXICOLÓGICO, CARACTERIZACIÓN DE LA
JATROPHA CURCAS Y SU UTILIZACIÓN SOSTENIBLE EN
PAÍSES EN DESARROLLO**

Memoria presentada para optar al Grado de Doctor por la

Universidad Complutense de Madrid

Departamento de Toxicología y Farmacología

ELISA BARAHONA NIETO

Madrid, 2012

ELISA BARAHONA NIETO

**NUEVOS BIOCARBURANTES Y SOSTENIBILIDAD:
PERFIL TOXICOLÓGICO, CARACTERIZACIÓN DE LA
JATROPHA CURCAS Y SU UTILIZACIÓN SOSTENIBLE EN
PAÍSES EN DESARROLLO**

Directores:

Prof. Dr. Arturo Anadón Navarro
Catedrático de Toxicología y Legislación Sanitaria
Facultad de Veterinaria
Departamento de Toxicología y Farmacología

Prof. Dr. Víctor Castellano Santos
Profesor Asociado de Toxicología
Facultad de Veterinaria
Departamento de Toxicología y Farmacología

Prof. Dr. Pedro Díaz Peralta
Profesor Asociado de Deontología, Medicina Legal y Legislación
Facultad de Veterinaria
Departamento de Toxicología y Farmacología

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

Deseo expresar mi agradecimiento:

A mis Directores de Tesis Doctoral, Prof. Dr. Arturo Anadón Navarro, Catedrático de Toxicología y Legislación Sanitaria y los Profesores Asociados Dr. Víctor Castellano Santos y Dr. Pedro Díaz Peralta, por la dirección de esta Memoria y por todas sus enseñanzas, su valiosa colaboración, consejos y dedicación que han conducido a la realización de esta Tesis Doctoral.

A la Directora del Departamento de Toxicología y Farmacología, Prof. Dra. María Rosa Martínez Larrañaga, por su apoyo a lo largo de mis estudios de doctorado, así como por los medios puestos a disposición en este trabajo.

A mis compañeros del Equipo de Investigación de Toxicología, del Departamento de Toxicología y Farmacología de la Universidad Complutense de Madrid, Dra. María Aránzazu Martínez Caballero, Dr. Alejandro Romero Martínez., Dra. Irma Ares Lomban, Dra. Lucía Roda Ghisleri y en especial a la Dra. Eva Ramos Alonso por la gran ayuda que me han prestado en todo momento para la realización de este trabajo.

Al Prof. Dr. Julio Lumbreras Martín de la Escuela Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid y a Dña. Consuelo Garrastazu Díaz, Jefa del Servicio de Registros Oficiales de Salud Pública del Instituto de Salud de Madrid, por su colaboración e información en materia de calidad del aire y efectos de la contaminación sobre la salud humana, respectivamente.

A mis seres queridos, a mis padres y hermanos.



UNIVERSIDAD COMPLUTENSE
MADRID

**Departamento de Toxicología
y Farmacología
Facultad de Veterinaria
28040 Madrid**

Prof. Dr. Arturo Anadón Navarro, Catedrático de Toxicología y Legislación Sanitaria del Departamento de Toxicología y Farmacología de la Facultad de Veterinaria de la Universidad Complutense de Madrid,

Prof. Dr. Víctor Castellano Santos, Profesor Asociado de Toxicología del Departamento de Toxicología y Farmacología de la Facultad de Veterinaria de la Universidad Complutense de Madrid

Prof. Dr. Pedro Díaz Peralta, Profesor Asociado de Deontología, Medicina Legal y Legislación del Departamento de Toxicología y Farmacología de la Facultad de Veterinaria de la Universidad Complutense de Madrid

CERTIFICAN que **Dña. ELISA BARAHONA NIETO**

Ha realizado bajo nuestra dirección su Tesis Doctoral titulada “**Nuevos Biocarburantes y Sostenibilidad: Perfil Toxicológico, Caracterización de la *Jatropha curcas* y su Utilización Sostenible en Países en Desarrollo**” en el Departamento de Toxicología y Farmacología de la Facultad de Veterinaria de la Universidad Complutense de Madrid.

Y para que conste a los efectos oportunos, se expide el presente certificado en Madrid, a veintiocho de febrero del dos mil doce.

Prof. Dr. Arturo Anadón Navarro

Prof. Dr. Víctor Castellano Santos

Prof. Dr. Pedro Díaz Peralta

Trabajo financiado en parte por los Proyectos:

Ref. CONSOLIDER CSD2007-063 (MEC),

Ref. S2009/AGR-1469 (CAM), y

Ref. GR35/10 (UCM-BSCH)

A mi marido Jesús y a mis hijos Guillermo, Clara y Daniel

ACRÓNIMOS

AEBIOM	Asociación Europea de la Biomasa (<i>Biomass European Association</i>)
ADN	Ácido dexosirribonucleico
AEI	Iniciativa Avanzada sobre Energía (<i>Advanced Energy Initiative</i>)
AEMA	Agencia Europea de Medio Ambiente (<i>European Environmental Agency-EEA</i>)
AFLP	Polimorfismo de fragmento ampliado (<i>Amplified Fragment Length Polymorphism</i>)
AGL	Ácidos grasos libres
ANP	Agencia Nacional del Petróleo, Gas Natural y Biocombustibles-Brasil
AOSIS	Alianza de pequeños Estados insulares (<i>Alliance of Small Island States</i>)
APTT	Tiempo de tromboplastina parcial activada (<i>Activated Partial Tromboplastine Time</i>)
APPA	Asociación de Productores de Energías Renovables
ARN	Ácido ribonucleico
Art.	Artículo

ASEBIO	Asociación Española de Bioindustrias
BASIC	Brasil, India, China y Sudáfrica
BC	Carbón elemental (<i>Black carbon</i>)
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
BP	British Petroleum
BRIC	Brasil, Rusia, India, China
CAC	Captura y Almacenamiento de Carbono (<i>Carbon Capture and Storage</i>)
CDU	Unión Cristiano Demócrata de Alemania (<i>Christich Demokratische Union</i>)
CE	Comunidad Europea
CFC	Cloro fluoro carbonos
CH ₄	Metano
CIAT	Centro Internacional de Agricultura Tropical
CIEMAT	Centro de Investigaciones Medioambientales, Energéticas y Tecnológicas
CMNUCC	Convenio Marco de las Naciones Unidas contra el Cambio Climático (<i>United Nations Framework Convention on Climate Change- UNFCCC</i>)
CMV	Citomegalovirus

CNE	Comisión Nacional de la Energía
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
CONTAM	Panel Científico de Contaminantes en la Cadena Alimentaria de la EFSA (<i>Panel on Contaminants in the Food Chain of the European Food Safety Authority</i>)
COP	Conferencia de las Partes (<i>Conference of Parties</i>)
CORPOICA	Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria
CSIC	Consejo Superior de Investigaciones Científicas
CSIRO	Organización de la Commonwealth para la Investigación Científica e Industrial (<i>Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization</i>)
DEFRA	Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales del Reino Unido (<i>UK Department of Enviroment, Food and Rural Affairs</i>)
ECV	Evaluación del Ciclo de Vida
EEA	Agencia Europea de Medio Ambiente (<i>European Environmental Agency</i>)
EBB	Consejo Europeo del Biodiesel (<i>European Biodiesel Board</i>)
EEV	Vehículos Ecológicos Mejorados (<i>Enhanced Environmentally friendly Vehicles</i>)

EFSA	Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (<i>European Food Safety Authority</i>)
EMT	Empresa Municipal de Transportes.Madrid.
EPA	Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU. (<i>US Environmental Protection Agency</i>)
ESMAP	Programa Asistido de Gestión en el sector energético (<i>Energy Sector Management Assisted Program</i>)
ETBE	Etil-ter-butil-eter
EUROBSERVER	Observatorio europeo de energías renovables
EUROPABIO	Asociación Europea de Bioindustrias (<i>European Association of Bioindustry</i>)
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (<i>Food and Agriculture Organization</i>)
FC	Fluorocarbonos
FMA	Forbol 12-miristato 13-acetato (<i>Phorbol 12 myristate 13 acetate</i>)
FMI	Fondo Monetario Internacional
GEF	Fondo Global para el Medio Ambiente (<i>Global Environment Facility</i>)
GEI	Gases de efecto invernadero (Greenhouse gases effect)

GIS	Sistema de Información Geográfica (<i>Geographical Information System</i>)
GTZ	Instituto Alemán de Cooperación Técnica (<i>Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit</i>)
GW	Giga watios (mil millones de watios)
ha	Hectárea
HAP	Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos
HFC	Hidrofluorocarbonos
HPLC	Comatografía líquida de alta eficiencia (<i>High Performance Liquid Chromatography</i>)
HSE	Consejo Independiente para la Salud y la Seguridad del Reino Unido (<i>UK Health and Safety Executive</i>)
HSV-2	Virus del Herpes Simple
ICEX	Instituto Español de Comercio Exterior
ICS	Centro Internacional de Ciencia y Alta tecnología (<i>International Centre for Science and High Technology</i>)
IDAE	Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía
IDH	Índice de Desarrollo Humano
IFPRI	Instituto Internacional de Investigación en políticas de Alimentos (<i>International Food Policy Research Institute</i>)

IICA	Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura
INIFAP	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias de México
IPADE	Instituto para el Desarrollo y la Democracia
IPCC	Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>)
ISO	Organización Internacional de Normalización (<i>International Standard Organization</i>)
ISSR	Repetición de secuencia simple (<i>Inter Simple Sequence Repeat</i>)
JBIC	Banco de Cooperación Internacional de Japón (<i>Japan Bank for International Cooperation</i>)
kDa	kilo dalton
Kg	Kilogramos
Kl	Kilolitros
ktep	kilo toneladas equivalentes de petróleo
Kw	kilo watios
LCA	Evaluación del ciclo de vida (<i>Live Cycle Assessment</i>)
M	millones

MARM	Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de España
MAS	Selección Asistida por Marcadores (<i>Markers Assisted Selection</i>)
MDL	Mecanismos de Desarrollo Limpio
M€	Millones de euros
Mha	Millones de hectáreas
Mj	megajulio
mm	milímetros
Mpb	Millones de pares de bases
MSP	Precios mínimos de apoyo (<i>Minimum support prices</i>)
Mt	Millones de toneladas
Mtep	Millones de toneladas equivalentes de petróleo
MTBE	Metil-ter-butil-eter
NASA	Administración National del Espacio (<i>National Space Administration</i>)
NEERI	Instituto Nacional de Investigación en Ingeniería Ambiental (<i>National Environmental Engineering Research Institute</i>)
NFL	Combustibles Naturales Limitada (<i>Natural Fuel Ltd</i>)

NGRI	Instituto Nacional de Investigación Geofísica (<i>National Geophysical Research Institute- India</i>)
NHTSA	Administración Nacional de Seguridad Vial (<i>National Highway Traffic Safety Administration</i>)
NO _x	Óxidos de Nitrógeno
N ₂ O	Óxido nitroso
nHAP	Nitratos de hidrocarburo aromáticos policíclicos
O ₃	Ozono
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (<i>Organisation for Economic Cooperation and Development</i>)
OMI	Organización Marítima Internacional
OMM	Organización Mundial de Meteorología
OMS	Organización Mundial de la Salud (World Health Organisation- WHO)
ONG	Organización No Gubernamental
ONU	Organización de las Naciones Unidas (United Nations Organisation)
PAC	Política Agraria Común
PAN	Nitrato de peroxiacetilo (<i>Peroxiacetil Nitrate</i>)
PANER	Plan de Acción Nacional de Energías Renovables

PCR	Reacción en Cadena de la Polimerasa (<i>Polymerase Chain Reaction</i>)
PFBT	Propiedades de flujo a baja temperatura
PFC	Perfluorocarbonos
PIB	Producto Interior Bruto
PYMES	Pequeñas y Medianas Empresas
PKC	Proteína quinasa C (<i>Protein Kinase C</i>)
PM	Material Particulado (<i>Particulate Matter</i>)
PNA	Plan Nacional de Asignaciones
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (<i>United Nations Environment Program -UNEP</i>)
PPM	Partes Por Millón
PRD	Partido de la Revolución Democrática de Mexico
RADP	ADN Polimórfico Amplificado (<i>Random Amplified Polymorphic DNA</i>)
RCE	Reducción Certificada de Emisiones
RCP	Recursos Comunes de la Propiedad
REACH	Registro, Evaluación, Autorización y Restricción de las sustancias y los preparados químicos (<i>Register, evaluation, authorization and restriction of Chemicals</i>)

REDD+	Reducción de las emisiones por deforestación y degradación
RIP	Proteína Inactivante del Ribosoma (<i>Ribosome Inactivating Protein</i>)
RIRDC	Corporación de Investigación y Desarrollo de Industrias Rurales (<i>Rural Industries Research and Development Corporation-Australia</i>)
SAGPyA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos de Argentina
SCENIHR	Comité Científico sobre Riesgos Sanitarios Emergentes y Recientemente identificados (<i>Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks</i>)
SF ₆	Hexafluoruro de azufre
SO _x	Óxidos de azufre
Sp.	Especie/s
SPD	Partido Socialdemócrata Alemán (<i>Sozialdemocratiche Partei Deutschlands</i>)
t	Tonelada
t CO ₂ -eq	Tonelada de CO ₂ equivalente
TFA	Tetradecanol forbol 13 acetato (<i>Tetradecanol-phorbol-13-acetate</i>)
UE	Unión Europea.

UNDP	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (<i>United Nations Development Programme</i>)
UNFCCC	Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>)
UNFPA	Foro de Población de las NNUU. (<i>United Nations Forum Population</i>)
UNIDO	Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (<i>United Nations Industrial Development Organisation</i>)
USDA	Departamento de Agricultura de los EE.UU. (<i>United States Department of Agriculture</i>)
USDOE	Departamento de Energía de los EE.UU (<i>United States Department of Energy</i>)
UNDP	Programa de las NN.UU. para el Desarrollo (<i>United Nations Development Program</i>)
VIH	Virus de la Inmunodeficiencia Humana
VZV	Virus Varicela Zoster
WEO	Perspectiva Mundial de la Energía (<i>World Energy Outlook</i>)
WF	Huella hídrica (<i>Water Footprint</i>)
WPMN	Grupo de Trabajo sobre Nanomateriales manufacturados (<i>Working Party on Manufactured Nanomaterials</i>)

INDICE DE LA TESIS

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN.....	19
1.1. CAMBIO CLIMÁTICO Y MODELO ENERGÉTICO: RENOVABLES VERSUS ENERGÍA NUCLEAR.....	20
1.1.1. Cambio climático.....	20
1.1.1.1. Mitigación del cambio climático.....	29
1.1.1.1.1. Comercio Internacional de Emisiones (Art.17).....	31
1.1.1.1.2. Mecanismos de Aplicación Conjunta.....	32
1.1.1.1.3 Mecanismo para un Desarrollo Limpio.....	32
1.1.1.2. Adaptación al cambio climático.....	36
1.1.1.3. Aplicación del protocolo de Kioto en la UE	38
1.1.2. El modelo energético: Renovables versus energía nuclear	43
1.1.2.1. Otras fuentes de energía.....	51
1.2. INTRODUCCIÓN A LOS BIOCOMBUSTIBLES	53
1.2.1.¿Qué son los biocombustibles? Grandes cifras.....	53
1.2.1.1. Evolución histórica de los biocombustibles	60
1.2.1.2. Toxicidad de los biocombustibles.....	64
1.2.2. Nuevas fuentes de obtención: biodiesel de <i>Jatropha</i> <i>curcas</i> L. y otros	65
1.2.2.1. Biodiesel de Euforbiaceas.....	65
1.2.2.2. Biodiesel de microalgas	67
1.3. SOSTENIBILIDAD DE LOS BIOCARBURANTES	71
1.3.1. Generalidades del concepto.....	71
1.3.2. Enfoque en EE.UU	78
1.3.3. Enfoque en la UE	79
1.3.4. Otros enfoques internacionales	82
1.4. ÉTICA AMBIENTAL EN RELACIÓN CON LOS BIOCOMBUSTIBLES	85
1.5. PRINCIPIOS DE RESPONSABILIDAD AMBIENTAL INTERNACIONAL EN RELACION AL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMATICO	89

1.6. OBJETIVOS DEL TRABAJO	95
2. MÉTODO	97
2.1. METODOLOGÍA DE BÚSQUEDA DE LITERATURA CIENTÍFICA ...	97
2.2 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	98
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	101
3.1. ESTRATEGIAS SOBRE BIOCOMBUSTIBLES EN EL ÁMBITO INTERNACIONAL (UE, ESPAÑA, EE.UU., CHINA, BRASIL, INDIA) Y MARCO REGULADOR.....	101
3.1.1.....Estrategias en el ámbito internacional. Posturas a favor y en contra. Debate científico y social y grupos de presión.....	101
3.1.1.1. Unión Europea y España	110
3.1.1.1.1. Libro Blanco para una Estrategia y un Plan de Acción Comunitarios: Energía para el futuro: Fuentes de energía renovables	
11313	
3.1.1.1.2. «Estrategia de la UE sobre los biocarburantes».....	116
3.1.1.1.3. Informe sobre los biocarburantes.....	119
3.1.1.1.4. Estrategia UE 2020.....	121
3.1.1.1.5. Estrategias en España.....	123
3.1.1.1.6. Empresas y Tecnologías avanzadas en la UE y España.	128
3.1.2. MARCO REGULADOR EN LA UE Y ESPAÑA	132
3.1.2.1. Fomento de los biocarburantes en la UE.....	132
3.1.2.1.1. Aplicación de la Directiva 2003/30/CE.....	132
3.1.2.1.2. Aplicación de la Directiva 2009/28/CE.....	135
3.1.2.1.3. Especificaciones técnicas para los biocarburantes.....	138
3.1.2.1.4. Medidas fiscales aplicables a los biocarburantes.....	144
3.1.2.2. España	145
3.1.2.2.1. Fomento de biocarburantes.....	145
3.1.2.2.2. Especificaciones técnicas para los biocarburantes.....	147
3.1.2.2.3. Medidas fiscales aplicables a los biocarburantes.....	148
3.1.3. Otras economías y organizaciones internacionales.....	149
3.1.3.1. EE.UU. y otras economías desarrolladas.....	149
3.1.3.1.1. EE.UU.	149
3.1.3.1.2. Australia.....	154
3.1.3.1.3. Japón	160
3.1.3.2. Economías emergentes (China, India y Brasil).....	162

3.1.3.2.1. China.....	162
3.1.3.2.2. India.....	165
3.1.3.2.3. Brasil.....	171
3.1.3.3. OCDE, FAO y otras Organizaciones de las Naciones Unidas	175
3.1.3.3.1. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE)	175
3.1.3.3.2. Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO)...	179
3.1.3.3.3. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).....	181
3.1.3.3.4. UNIDO (Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial).....	183
3.2. CARACTERIZACIÓN BOTÁNICA DE LA <i>Jatropha curcas</i> L.....	187
3.2.1. Taxonomía y descripción del género.....	187
3.2.1.1. Genero <i>Jatropha</i>	187
3.2.1.1.1. <i>Jatropha curcas</i> L. como variedad de elección.....	189
3.2.1.1.1.1. Taxonomía.....	189
3.2.1.1.1.2. Descripción.....	190
3.2.1.1.1.3. Composición	191
3.2.1.2. Uso medicinal y terapéutico de la especie <i>Jatropha curcas</i> L.	197
3.2.1.3. Interés comercial de la planta.....	200
3.2.2. Condiciones agronómicas	205
3.2.2.1. Ecología.....	205
3.2.2.2. Períodos de floración.....	206
3.2.2.2.1. Mínimos requerimientos (suelo, luz, agua y temperatura).....	209
3.2.2.3. Cultivo de la <i>Jatropha curcas</i> L.	209
3.2.2.4. Principales plagas del cultivo de <i>Jatropha curcas</i> L.....	216
3.2.2.5. Huella hídrica del cultivo	218
3.2.2.6. Prácticas de mejora del cultivo.....	220
3.2.3. Mejora genética.....	223
3.2.3.1. Caracterización molecular.....	228
3.2.3.2. Actividad enzimática de la planta.....	233
3.2.4. Posible competencia con otras especies	234
3.3. CARACTERIZACIÓN TOXICOLÓGICA DE LA <i>Jatropha curcas</i> L. .	241

3.3.1. Principios activos y toxicidad.....	241
3.3.1.1. Principios y Mecanismos de acción.....	241
3.3.1.1.1. Lectinas.....	242
3.3.1.1.2. Terpenos.....	250
3.3.1.1.3. Fitatos	259
3.3.1.1.4. Inhibidores de tripsina.	262
3.3.1.1.5. Saponinas	263
3.3.1.2. Intoxicación en animales y en el hombre. Tratamiento....	265
3.3.2. Aplicaciones actuales	269
3.3.2.1. Lectinas	269
3.3.2.2. Esteres de Forbol.....	272
3.3.3. Futuras aplicaciones	272
3.3.3.1. Lectinas	275
3.3.3.2. Ésteres de forbol.....	276
3.4. CARACTERIZACIÓN TOXICOLÓGICA DE LOS PRODUCTOS DE TRANSFORMACIÓN INDUSTRIAL DE LA <i>Jatropha curcas</i> L.....	277
3.4.1. Aprovechamiento industrial.	277
3.4.1.1. Descripción del proceso industrial y principales productos	278
3.4.1.1.1. Extracción del aceite	278
3.4.1.1.2. Utilización de la torta de la <i>Jatropha curcas</i> L.....	283
3.4.1.1.3. Obtención del Biodiesel.....	291
3.4.1.1.3.1. Trans-esterificación no catalítica.....	291
3.4.1.1.3.2. Trans-esterificación catalítica.....	292
3.4.1.1.3.3. Trans-esterificación catalizada por una base	293
3.4.1.1.3.4. Trans-esterificación en dos etapas, catalizada por un ácido y una base.	294
3.4.1.1.3.5. Trans-esterificación con alcohol catalizada por una enzima	296
3.4.2. Residuos y subproductos.....	298
3.4.2.1. Glicerina	298
3.4.2.2. Otros usos.	302
3.4.3. Toxicología del biodiesel.....	302
3.4.3.1. Óxidos de nitrógeno.....	303
3.4.3.2. Partículas en suspensión.....	313

3.4.3.3. Monóxido de Carbono (CO).....	325
3.4.3.4. Posibles efectos adyuvantes de los alergenosenos	325
3.4.4. Impacto ambiental y toxicológico de las nanopartículas	328
3.4.4.1. Nanomateriales y nanopartículas. Caracterización, división, estructura y mecanismos de acción.	328
3.4.4.2. Dificultades relacionadas con la evaluación toxicológica de las nanopartículas.....	335
3.4.4.3. Impacto sobre la salud pública	337
3.4.4.4. Criterios para evaluar la calidad del aire en función de las nanopartículas.....	346
3.5. PROMOCIÓN DE LA <i>Jatropha curcas</i> L. EN PAÍSES EN DESARROLLO.	351
3.5.1. Aspectos positivos y negativos de la promoción de los biocombustibles.....	351
3.5.1.1. Aspectos fiscales de la promoción de biocombustibles en países en desarrollo.....	354
3.5.1.2. Aspectos ambientales de la promoción de biocombustibles en países en desarrollo.....	356
3.5.1.3. Aspectos socioeconómicos de la promoción de biocombustibles en países en desarrollo.....	357
3.5.2. Evaluación del ciclo de vida de la <i>Jatropha curcas</i> L. y promoción de su cultivo en África.	358
3.5.2.1. Senegal.....	368
3.5.2.2. Ghana.....	370
3.5.3. Promoción de la <i>Jatropha curcas</i> L. en Iberoamérica.....	372
3.5.3.1. Colombia.....	377
3.5.3.2. México.....	380
3.5.3.3. Argentina.....	382
3.5.4. Promoción de la <i>Jatropha curcas</i> L. en Asia.....	384
3.5.5. Estudio económico del cultivo de <i>Jatropha curcas</i> L. para producir biodiesel	386
3.5.6. <i>Jatropha curcas</i> y equidad:	396
4. CONCLUSIONES	401
5. BIBLIOGRAFÍA	405

1. INTRODUCCIÓN

El problema del calentamiento global, que ha puesto en alerta a nuestra sociedad, ha contribuido también a la toma de conciencia global sobre la necesidad urgente de sustituir de forma progresiva la utilización de los combustibles fósiles, carbón y petróleo, por fuentes de energía alternativas como las energías renovables o la energía nuclear con el objetivo final de reducir las emisiones de GEI (en adelante GEI). De esta forma, y además de cumplir con los compromisos internacionales de reducción de emisiones fijados en el marco del Protocolo de Kioto (Japón), se minimiza la dependencia del petróleo cuya cotización en el mercado internacional sufre fluctuaciones que suponen un riesgo importante para las economías de los países y cuyas reservas no son inagotables.

El impacto del cambio climático en la conciencia social y la aceptación de fuentes de energía alternativas que lo minimicen no están exentos de controversias. Más allá de considerar si la huella de carbono (MARM, 2011)¹ de las alternativas es más favorable que las de las energías fósiles, las posturas están enfrentadas cuando surge el debate sobre la aceptación de la energía nuclear o la competencia de los biocombustibles con las fuentes tradicionales de alimentos. De aquí la importancia de realizar una correcta evaluación de la sostenibilidad de las energías alternativas² desde una triple perspectiva: económica, social y ambiental.

La utilización de la energía procedente de la biomasa, como es el caso de los biocombustibles, tampoco escapa a la polémica. Su utilización masiva ha tenido un impacto indudable no sólo por imputársele el alza del precio de los alimentos por la competencia derivada del uso compartido de tierras de

¹ Totalidad de GEI emitidos por efecto directo o indirecto de un individuo, organización, evento o producto".

² La sostenibilidad en el ámbito energético alude al uso de fuentes de energía que minimicen las emisiones a la atmósfera de GEI (lo que permite cumplir los objetivos internacionales de lucha contra el cambio climático), que supongan un beneficio social por la creación de puestos de trabajo y que sean económicamente asumibles por países, empresas y particulares.

cultivo, sino también por los cambios que implican en los usos agrícolas y forestales tradicionales.

1.1. CAMBIO CLIMÁTICO Y MODELO ENERGÉTICO: RENOVABLES VERSUS ENERGÍA NUCLEAR

El modelo energético de un país, es decir las opciones que éste adopta para la obtención de energía, está estrechamente relacionado con su impacto en el cambio climático ya que, dependiendo de las opciones elegidas, renovables o no renovables, variarán las emisiones de GEI.

El significativo aumento de los GEI en los últimos 50 años se ha producido especialmente por el uso masivo de carbón y derivados de petróleo (gasolina, queroseno y gasóleo) y por las emisiones a la atmósfera producidas por su combustión. Este hecho nos obliga a plantear sin demora la necesidad de fomentar las energías limpias o renovables que nos ayuden a rebajar los niveles de emisiones a la atmósfera para dirigir nuestras economías por la senda de un desarrollo sostenible. Es decir, es preciso que cambiemos el modelo energético tradicional que descansa en las importaciones de petróleo con el riesgo económico que conllevan por la fluctuación de los precios del crudo, por un modelo basado en el aprovechamiento de las fuentes de energía renovables (hidráulica, solar, eólica y biomasa, entre otras) más adecuadas.

Desde el año 2007, el 50% de la población mundial vive en las ciudades (UNFPA, 2007), por lo que las políticas energéticas que las afecten serán decisivas en la lucha contra el cambio climático.

1.1.1. Cambio climático

La vida en la Tierra es posible gracias a la energía que procede del sol y que llega en forma de luz visible y radiaciones infrarrojas y ultravioletas. Aproximadamente el 30% de la energía solar vuelve a dispersarse en el espacio por la acción de la atmósfera exterior, pero el resto llega a la superficie terrestre, que la refleja en una forma de energía algo menos activa y que se percibe como calor: los rayos infrarrojos. Esta radiación infrarroja es

trasmitida lentamente por las corrientes de aire, y su liberación final al espacio se ve reducida por los GEI.

Los GEI más importantes son:

- Dióxido de carbono (CO₂)
- Metano (CH₄)
- Óxido nitroso (N₂O)
- Hidrofluorocarbonos (HFC)
- Perfluorocarbonos (PFC)
- Hexafluoruro de azufre (SF₆).

La influencia de estos gases en el efecto invernadero se estima en el siguiente orden: 55% para el CO₂, 25% para los FC³, 15% para el CH₄ y 5% para el N₂O. Los combustibles fósiles, además de liberar CO₂ en su combustión, producen una amplia serie de contaminantes tóxicos dependiendo del tipo de combustible y de la tecnología usada en su combustión (Physical Geography Fundamentals, 2009).

El vapor de agua es el gas más abundante en la atmósfera y el que más calor retiene (36-66% en días claros y 66-85% en días nublados); por tanto puede amplificar el efecto producido por otros gases. No obstante, la variabilidad climática que esto implica no se considera cuando nos referimos al término “cambio climático”. El propio Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), en su Art. 1.2⁴ utiliza este término exclusivamente para referirse al producido por causas antropogénicas.

Los GEI representan únicamente el 1% de la atmósfera, pero constituyen una especie de manto que rodea a la tierra y que retiene el calor radiante desde su superficie elevando la temperatura del planeta. Se estima que la temperatura ha aumentado en 0,6°C (0,4-0,8°C) durante los últimos 100 años, siendo el

³ FC (Fluoro Carbonos). Denominación genérica que incluye el HFC y el PFC.

⁴ Por “cambio climático” se entiende un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos comparables (Art. 1.2).

año 2010 el más cálido y la década 2000-2010, muy probablemente la década más cálida según la Organización Mundial de Meteorología (OMM)⁵.

Los niveles naturales de estos gases se complementan con las emisiones de CO₂ resultantes de la combustión del carbón, del petróleo y el gas natural, y por la emisión directa de CH₄ y N₂O, adicionales, producidos por el transporte, las actividades agrícolas y los cambios en el uso de la tierra. A éstos hay que añadir los gases industriales de larga vida que no se producen de forma natural. Se considera que alteraciones climáticas originadas por los cambios de estas concentraciones en la atmósfera causan, cada vez más frecuentemente, desastres naturales como ciclones y huracanes, inundaciones y fuertes sequías.

Hace ya muchos años que los científicos comenzaron a señalar a la sociedad las amenazas del calentamiento atmosférico. Las pruebas encontradas en los decenios de 1960 y 1970 de que las concentraciones de CO₂ en la atmósfera estaban aumentando, llevaron a los climatólogos y otros expertos a pedir una intervención global. Tuvieron que pasar años para que la comunidad internacional diera una respuesta.

En 1988, se creó el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) por iniciativa de la Organización Mundial de Meteorología (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Este Grupo presentó en 1990 un primer informe⁶ de evaluación en el que se reflejaban las opiniones de 400 científicos. En él se afirmaba que el calentamiento atmosférico era real y se lanzaba un llamamiento a la comunidad internacional para que hiciera algo para evitarlo (IPCC, 1990).

Las conclusiones del Grupo alentaron a los Gobiernos a adoptar el CMNUCC (1992).

⁵ El Secretario General de la OMM comunicó en diciembre de 2010, en Cancún (México) en la Cumbre de Cambio Climático, que, a la espera de resultados definitivos, el año 2010 podría ser el más caluroso de la historia, junto con 1998 y 2005. Posteriormente este extremo fue confirmado.

⁶ http://www.ipcc.ch/ipccreports/far/IPCC_1990_and_1992_Assessments/English/ipcc-90-92-assessments-overview.pdf

Frente a lo que ocurre en la práctica con la adopción de Acuerdos internacionales, la negociación en este caso fue rápida por tratarse de un Convenio Marco sin objetivos vinculantes. Se presentó a la firma en la Conferencia de las Naciones Unidas (NN.UU) de 1992 sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, la Cumbre de la Tierra, en Río de Janeiro (Brasil). El objetivo último que se fijó era estabilizar las emisiones de GEI *"a un nivel que impida interferencias antropogénicas⁷ peligrosas en el sistema climático"*. Se declara asimismo que *"ese nivel debería lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible"* (CMNUCC, 1992).

El último informe emitido por el IPCC (2007), no deja lugar a dudas: *"Este calentamiento no tiene precedentes en los últimos 10.000 años. La mayor parte se viene observando a lo largo de la última mitad del siglo XX y es atribuido al aumento de la concentración de los GEI, fundamentalmente del CO₂, proveniente de la utilización del petróleo, del gas y del carbón"*.

Las consecuencias a corto plazo si no se toman medidas urgentes serán:

- Cambio de las variables climáticas: incremento de la temperatura global media, disminución de la capa de nieve y subida del nivel del mar.
- Procesos migratorios humanos.
- Aumento del número e intensidad de ciclones tropicales.
- Incremento de las precipitaciones provocando inundaciones y riadas.
- Extensión de plagas y enfermedades hacia nuevas zonas, debido a los cambios de clima.
- Pérdida de capacidad productiva agrícola.
- Incremento de la erosión y de incendios forestales.
- Desaparición de numerosas especies (más de 1 millón en los próximos 50 años) (IPCC, 2007).

⁷ Que es de origen humano, que es producido por el hombre.

A continuación figuran algunas de las predicciones del IPCC por grandes regiones del mundo:

- Norte América: Descenso de la superficie nevada en las montañas del oeste; incremento del 5-20% en el rendimiento de la agricultura de regadío en algunas regiones; mayor frecuencia, intensidad y duración de las olas de calor en las ciudades que actualmente las experimentan.
- América Latina: Reemplazamiento gradual de los bosques tropicales por la sabana en el este de la amazonía: riesgo significativo de pérdida de biodiversidad por la extinción de especies en muchas áreas tropicales; cambios en la disponibilidad del agua para consumo humano, agricultura y producción de energía.
- Europa: Aumento del riesgo de inundaciones en zonas interiores; mayor frecuencia de inundaciones en áreas costeras y aumento de la erosión por tormentas y aumento del nivel del mar; retroceso de glaciares en áreas montañosas; reducción de la cubierta de hielo y del turismo de invierno; pérdida extensiva de especies y reducción de la productividad agrícola en las áreas del sur de Europa.
- África: se calcula que para el 2020, entre 75 y 250 millones de personas estarán privadas de acceso a agua potable; los cultivos de regadío se reducirán hasta el 50% en algunas zonas para este último año; la producción agrícola y el acceso a los alimentos se verán muy afectados.
- Asia: La disponibilidad de agua potable se reducirá en el centro, sur y este de Asia para el 2050; existirá un mayor riesgo de inundación y sequías en las áreas costeras, lo que aumentará el riesgo de muertes y enfermedades (NASA, 2010).

El IPCC tiene una función claramente establecida. No realiza investigaciones científicas, sino que examina las investigaciones realizadas en todo el mundo y publica informes periódicos de evaluación, cuatro hasta la fecha, mediante la recogida de informes especiales y adopta documentos técnicos.

Las observaciones del IPCC, por el hecho de reflejar un consenso científico mundial y ser de carácter apolítico, representan un contrapeso útil en el debate, con frecuencia muy politizado, sobre qué se debe hacer con respecto al cambio climático. Los informes del IPCC se utilizan con frecuencia como base para las decisiones adoptadas en el contexto del Convenio Marco, y desempeñan un papel importante en las negociaciones.

Un logro importante en este marco fue el reconocimiento del problema que representó un gran avance hace un decenio, cuando entró en vigor este Tratado, pues había menos pruebas científicas. En cualquier caso, a pesar del consenso alcanzado por el IPCC tras su 4º Informe de Evaluación, sobre el origen antropogénico del calentamiento global, todavía hay quienes (Klaus y Smith, 2008) dudan de que este problema sea real. El tema es además complejo y con profundas repercusiones económicas, especialmente para los países industrializados (Anexo I), ya que son ellos la fuente principal de la mayor parte de las emisiones de GEI en el pasado y en la actualidad.

Para facilitar el desarrollo económico de los países más pobres, que probablemente implica aumento de emisiones, el Convenio Marco acepta que la parte de las emisiones de GEI producidas por las naciones en desarrollo crezcan en los próximos años. No obstante, trata de ayudar a dichos países a limitar las emisiones sin perjudicar su progreso económico. Existe además el Fondo Global para el Medio Ambiente (GEF) creado en la propia Conferencia de Río de Janeiro de 1992 para financiar todas las actividades y proyectos en el marco de los instrumentos de carácter global adoptados en la misma.

Los órganos más importantes de funcionamiento del Convenio Marco son:

- La Conferencia de la Partes, que engloba a todos los países que lo han ratificado.
- El Panel de Científicos (IPCC de sus siglas en inglés)
- La Secretaría con sede en la ciudad alemana de Bonn, que presta apoyo al Convenio y a sus órganos subsidiarios.

Puesto que el Convenio Marco es precisamente eso, un marco general, para poder alcanzar compromisos más vinculantes fue preciso adoptar, en diciembre de 1997, el Protocolo de Kioto al que se adhirieron 160 países. Para la entrada en vigor del Protocolo se requería que hubiese sido ratificado por al menos 55 signatarios que representaran en su conjunto también al menos el 55% de las emisiones de CO₂⁸ Este objetivo se logró en noviembre de 2004 con la incorporación de Rusia que emitía el 17% del CO₂ mundial.⁹ Finalmente entró en vigor en febrero de 2005. En la actualidad ha sido ratificado por 193 naciones¹⁰.

La principal característica del Protocolo es que contiene objetivos obligatorios relativos a las emisiones de GEI vinculantes para las principales economías mundiales que lo han aceptado. Se estableció *el compromiso de lograr una reducción del 5,2%, de media, para el año 2010 sobre los niveles de emisiones de 1990*. Bajo este compromiso, las reducciones previstas fueron:

- Japón 6%,
- Estados Unidos (EE.UU.) 7% ,y
- Unión Europea (UE) 8%.¹¹

Otros grupos de países suscribieron compromisos para estabilizar sus emisiones, caso de Nueva Zelanda, Rusia o Ucrania, o se les permitió incrementarlas como Noruega, con un 1%, y Australia con un 8%.

El Protocolo de Kioto tiene una vigencia cuatrienal: 2008- 2012. El acuerdo que se aplicará en el marco del Convenio de Cambio Climático para lo que se denomina era “post-Kioto” o segunda fase del Protocolo se está haciendo

⁸ Art. 25.1 del Protocolo: El presente Protocolo entrará en vigor al nonagésimo día contado desde la fecha en que hayan depositado sus instrumentos de ratificación, aceptación, aprobación o adhesión no menos de 55 Partes en la Convención, entre las que se cuenten Partes del anexo I cuyas emisiones totales representen por lo menos el 55% del total de las emisiones de dióxido de carbono de las Partes del anexo I correspondiente a 1990.

⁹ <http://untreaty.un.org/English/notpubl/kyoto-sp.htm>.

¹⁰ <http://unfccc.int>

¹¹ La UE se comprometió a reducir entre 2008-2012 sus emisiones de GEI en relación con los niveles de 1990 en un 8%. Dentro del reparto comunitario, España es uno de los países que podía incrementar sus emisiones de 1990 en un 15% para el periodo 2008-2012 y, sin embargo, triplica en la actualidad el máximo permitido por la UE.

esperar. Sin embargo, en la COP-15¹² (2009) en Copenhague (Dinamarca), las Partes no alcanzaron un consenso en este sentido. La comunidad internacional consideró que la negociación había fracasado al acordar solamente la necesidad de transferir fondos a los países en desarrollo y continuar negociando. En la siguiente Conferencia, COP-16 celebrada en Cancún (México), en diciembre de 2010, la situación fue similar, pero en esa ocasión se alcanzaron otros Acuerdos relevantes¹³:

- Adopción de una Decisión por la que las Partes se comprometen a no aumentar la temperatura media de la tierra en más de 2°C¹⁴ y que se revisará en 2015 con la intención de no superar 1,5°C.
- Compromisos unilaterales de reducción de emisiones de GEI, adoptados voluntariamente por algunos países en el marco del Convenio Marco de Naciones Unidas.
- Creación de un *Fondo verde para el Clima* que es una entidad operativa del mecanismo financiero del Convenio para apoyar la realización de proyectos, programas, políticas y otras actividades.
- Creación del Mecanismo de Tecnología para el apoyo tecnológico.
- Creación de un Mecanismo para la Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación (REDD+) de los Bosques, que consiste en la conservación, la gestión sostenible de los bosques y la mejora de las reservas de carbono en los países en desarrollo. Con ello se alcanza la vieja aspiración de Brasil de que se compute la no deforestación como medida de mitigación, para cuyo fin las economías más avanzadas deberán transferir recursos económicos. Este nuevo mecanismo es especialmente importante en relación

¹² Así se denominó a la XV Conferencia de las Partes sobre el Cambio Climático, que se celebró del 7 al 18 de diciembre de 2009 (abreviado, COP 15)

¹³ Bolivia manifestó su disconformidad con los acuerdos por considerarlos un paso atrás al posponer nuevamente la adopción de una decisión sobre la segunda etapa del Protocolo de Kioto y una puerta para la flexibilización futura del Convenio.

¹⁴ Este acuerdo ya se había alcanzado en el marco del G8 en julio de 2009.

con la producción de biocarburantes. El hecho de que los países en desarrollo vayan a recibir una compensación económica por su decisión de no deforestar, que además va a contabilizar como medida de mitigación, evitará en muchos casos cambios en los usos del suelo ya que la deforestación produce una modificación de los patrones de precipitaciones de una zona, del nivel de humedad, de la captación de CO₂ y del porcentaje de radiación¹⁵.

En las negociaciones de Cancún se repitió una evidencia que se puso de manifiesto en COP-15 en Copenhague (Dinamarca). Desde la creación del Grupo de negociación BASIC (Brasil, India, China y Sudáfrica), la UE ha dejado de ser uno de los actores principales en la misma y su peso ha quedado desplazado. De esta manera los EE.UU. negocian en privado con las economías emergentes que no han asumido ningún compromiso en el marco del Protocolo de Kioto y proponen acuerdos fuera de su ámbito multilateral¹⁶. En la COP-16, los BASIC pusieron tres condiciones principales o elementos innegociables (EARTH NEGOTIATION BULLETIN, 2010):

1. Desembolso de 30.000 millones de dólares para el período 2010-2012 (financiación rápida).
2. Compromiso para una segunda fase del Protocolo.
3. Adopción de un mecanismo de transferencia de tecnología.

La última reunión de las Partes del protocolo de Kioto (COP17) que se ha celebrado en diciembre de 2011 en Durban (Sudáfrica) ha terminado con resultados poco alentadores. No obstante la conferencia de acordó un paquete de medidas que obligará a todos los grandes contaminantes a adoptar un plan de acción vinculante para frenar el calentamiento global.

¹⁵ Una de las recriminaciones a los biocarburantes más extendidas es la deforestación que causan por aumentar la superficie de cultivo. Así, la compensación económica evitará los planteamientos políticos irracionales de promover los cultivos energéticos a cualquier precio.

¹⁶ El hecho de que los dos países más contaminantes del planeta China (22,30%) y EE.UU. (19,91%) estén buscando un compromiso de reducción de emisiones al margen del Protocolo de Kioto, desvirtúa bastante el marco multilateral adoptado en su día. Esto es un precedente muy peligroso porque afecta al derecho internacional y a los países que apoyan el multilateralismo como la UE. Otro precedente peligroso es que se consienta que China no verificación de sus emisiones por terceros por considerarlo una intromisión en sus datos económicos.

El acuerdo se centra en cuatro puntos¹⁷:

1. Un segundo periodo del Protocolo de Kioto. Debido a la lentitud de desarrollar un nuevo protocolo, se acordó extender Kioto, cuya primera fase de reducción de emisiones va de 2008 a 2012. El segundo periodo de compromiso se desarrollará del 1 de enero de 2013 a finales de 2017. Los países aceptaron comenzar negociaciones para un nuevo tratado legalmente vinculante que se decidirá en 2015 y entrará en vigor en 2020
2. El diseño del Fondo del Clima Verde. En Durban las Partes abrieron el camino para el diseño de un Fondo del Clima Verde que canalice hasta 100.000 millones de dólares para el 2020 a los países más pobres, pero no llegaron a establecer de dónde saldrá ese dinero.
3. Un mandato para que todas las naciones firmen un pacto en el 2015 que las obligue a bajar sus emisiones de gases invernadero.
4. Una agenda de trabajo para el próximo año.

1.1.1.1. Mitigación del cambio climático

La política de lucha contra el cambio climático se puede abordar bajo dos enfoques diferentes previstos en el Convenio¹⁸: la mitigación de sus efectos y la adaptación.

La mitigación de este fenómeno se acomete frenando la acumulación de GEI en la atmósfera, a través de la reducción de las emisiones y de la retirada de los gases ya emitidos a los llamados “sumideros”¹⁹. La captura y

¹⁷ Disponible en <http://unfccc.int/2860.php>

¹⁸ Art. 3 del CMNUCC.

¹⁹ Sumidero de carbono o sumidero de CO₂ es un depósito natural o artificial de carbono, que absorbe el carbono de la atmósfera y contribuye a reducir la cantidad de CO₂ del aire. El CMNUCC lo define como *cualquier proceso, actividad o mecanismo que absorbe o remueve un GEI, un aerosol o un precursor de un GEI de la atmósfera*. Un sumidero de carbono no tiene por objeto reducir las emisiones de CO₂, sino disminuir su concentración. Los bosques, los océanos y las turberas son los principales sumideros naturales del planeta, a través de la fotosíntesis que utiliza CO₂ y libera O₂. En los árboles el carbono supone de media un 20% de su peso que es retenido en la madera, si bien no todas las especies absorben la misma cantidad ni este proceso es lineal a lo largo de todo su ciclo. Cuando mueren, la madera es

almacenamiento de CO₂ (CAC) es una de las opciones que existen para reducir las emisiones de este contaminante producidas por actividades humanas de la atmósfera. Puede producirse de forma natural, a través de los sumideros o dirigida por el hombre. Una de las fuentes principales de CO₂ es la combustión de los carburantes de origen fósil, ya sea en las grandes instalaciones de producción de energía, en el transporte, en la industria o en el sector residencial. La CAC precisa disponer de tres elementos: (1) el uso de una tecnología de separación de otros gases y captura, (2) el transporte al emplazamiento adecuado y (3) el almacenamiento. Existen numerosas tecnologías disponibles en el mercado para este proceso, en diferente estado de desarrollo²⁰.

El Protocolo de Kioto contempla tres tipos diferentes de mecanismos de flexibilidad para facilitar el cumplimiento de las obligaciones en relación con la mitigación de las emisiones:

1. El *Comercio Internacional de Emisiones*, a través del cual los países pueden transferir o adquirir parte de su cuota.
2. Los *Mecanismos de Aplicación Conjunta* (AC) por el que un país puede desarrollar un proyecto específico en otro²¹, que implique una reducción de emisiones, y que contabilice a favor del país inversor.
3. El *Mecanismo para un Desarrollo Limpio* (MDL), mediante el cual el país inversor con compromisos de reducción invierte en un país en desarrollo, que obtiene financiación y tecnología para proyectos de reducción de sus

descompuesta por las bacterias y hongos del suelo que la transforman en biomasa. Los bosques pueden transformarse en fuente de carbono mediante los incendios y la deforestación. Los océanos que absorben el 50% del CO₂ que se emite a la atmósfera, lo hacen principalmente a través del plancton, los peces y los corales, que lo utilizan para formar sus esqueletos. La mayoría de los depósitos de carbono en la vegetación (62%) se localizan en los bosques tropicales. En cuanto al carbono del suelo, parece ser que el 54% está retenido en los bosques templados de alta latitud.

²⁰ <http://www.greenfacts.org/en/co2-capture-storage/figtableboxes/1.htm>.

²¹ Ambos países deben encontrarse entre los que han asumido compromisos de reducción de emisiones.

emisiones. El inversor podrá contabilizar a su favor la reducción obtenida, a través de la Reducción Certificada de Emisiones (RCE).

1.1.1.1.1. Comercio Internacional de Emisiones (Art.17)

El comercio de derechos de emisión es una herramienta administrativa que se utiliza para el control de las emisiones de los GEI. Consiste en que un Gobierno o una Organización Internacional establecen un límite de emisiones contaminantes y las empresas están obligadas a gestionar un número de *bonos*, derechos o créditos, que representan el derecho a emitir una cantidad determinada. Las empresas que necesiten aumentar las emisiones por encima de su límite deben comprar créditos a otras que contaminen por debajo del límite que marca el número de créditos que han recibido (Stavins, 2005).

La transferencia de créditos es una especie de compra, de manera que el comprador está pagando una cantidad de dinero por contaminar, mientras que el vendedor obtiene un beneficio por haber logrado reducir sus emisiones. De esta forma se consigue, en teoría, que las empresas que reduzcan emisiones de manera efectiva, lo hagan de forma más eficiente (a menor coste).

El comercio de derechos de emisión se considera un enfoque más eficiente que la tasación o la regulación directa. Puede ser más barato, y políticamente más deseable para las industrias existentes porque obtienen la concesión de permisos que se hace de manera proporcional a las emisiones históricas. Además, la mayor parte del dinero generado por este sistema se destina a proyectos de medioambiente.

Las críticas al comercio de derechos de emisión se basan en la dificultad de controlar todas las actividades de la industria y de asignar los derechos iniciales a cada compañía. No obstante, el sistema más importante es el Régimen de Comercio de Derechos de Emisión de la UE.

1.1.1.1.2. Mecanismos de Aplicación Conjunta

La AC es un mecanismo previsto en el Protocolo de Kioto²² que permite a los países industrializados cumplir parte de sus obligaciones de recortar las emisiones de GEI pagando proyectos que reduzcan las emisiones en otros países industrializados. En la práctica, ello significará probablemente la construcción de instalaciones en los países de Europa oriental y de la antigua Unión Soviética –las “economías en transición”– pagadas por países de Europa occidental y América del Norte.

Los Gobiernos patrocinadores recibirán créditos que podrán aplicar a sus objetivos de emisión; las naciones receptoras obtendrán inversión extranjera y tecnología avanzada (pero no créditos para conseguir sus propios objetivos de emisión; deben hacerlo ellos mismos). El sistema presenta ventajas, como la flexibilidad y la eficiencia. Muchas veces es más barato realizar obras de eficiencia energética en los países en transición, y conseguir mayores recortes de las emisiones de esa manera. La atmósfera se beneficia independientemente del lugar donde ocurran estas reducciones.

El funcionamiento del mecanismo de aplicación conjunta es semejante al del “Mecanismo para un desarrollo limpio”.

1.1.1.1.3. Mecanismo para un Desarrollo Limpio

Este mecanismo de flexibilidad, conocido como MDL, previsto en el Protocolo de Kioto²³ permite a los Gobiernos de países industrializados (países del Anexo 1 del Protocolo) y a las empresas (ya sean personas jurídicas de derecho

²² Art. 6.1: A los efectos de cumplir los compromisos contraídos en virtud del artículo 3, toda Parte incluida en el anexo I podrá transferir a cualquiera otra de esas Partes, o adquirir de ella, las unidades de reducción de emisiones resultantes de proyectos encaminados a reducir las emisiones antropógenas por las fuentes o incrementar la absorción antropógena por los sumideros de los GEI en cualquier sector de la economía,

²³ Art. 12.1: Por el presente se define un mecanismo para un desarrollo limpio. El propósito del mecanismo para un desarrollo limpio es ayudar a las Partes no incluidas en el anexo I a lograr un desarrollo sostenible y contribuir al objetivo último de la Convención, así como ayudar a las Partes incluidas en el anexo I a dar cumplimiento a sus compromisos cuantificados de limitación y reducción de las emisiones contraídos en virtud del artículo 3.

público o privado) suscribir acuerdos para cumplir con metas específicas de reducción de GEI en el primer periodo de compromiso, comprendido entre los años 2008-2012, a través de inversiones en proyectos de reducción de emisiones en países en vías de desarrollo (denominados “Países no incluidos en el Anexo 1”), y se configura como una alternativa para adquirir RCE a menores costes que en el mercado.

El Mecanismo cumple con un triple objetivo: (1) por un lado, el país inversor hace uso de las RCE para alcanzar los objetivos de reducción y limitación de emisiones; (2) por otro lado, el país receptor de la inversión consigue un desarrollo sostenible, a través de la transferencia de tecnologías limpias y (3) finalmente, se contribuye a alcanzar el objetivo del Convenio Marco.

Los proyectos iniciados a partir del 1 de enero de 2000 podían ser registrados también como MDL y, por tanto contabilizar para el cumplimiento de los objetivos en el primer período de compromiso (2008-2012), siempre y cuando se hubiera solicitado antes del 31 de diciembre de 2006²⁴.

En la actualidad, el MDL tiene que superar obstáculos diversos que dificultan su contribución al desarrollo sostenible. Entre éstos:

- El objetivo principal del marco normativo y del procedimiento MDL es la reducción de emisiones, en detrimento de su contribución al desarrollo sostenible de los países receptores.
- Los países en vías de desarrollo carecen de capacidad técnica e institucional que atraigan a promotores de estos proyectos MDL.
- Mayor interés por los proyectos de tipo industrial, que generan mucho mayor volumen de derechos que los de energías renovables, por ejemplo.
- Ausencia de criterios e indicadores de impacto comunes que evalúen uniformemente sus efectos sobre el desarrollo. La valoración se encomienda exclusivamente a la Autoridad del país receptor.
- Altos costes de transacción de los proyectos a pequeña escala (Guijarro *et al.*, 2008).

²⁴ Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (España).

En 2009, INTERMON-OXFAM llevo a cabo un análisis de la distribución geográfica del MDL a nivel mundial²⁵. Se observa que un grupo de cuatro países (India, China, Brasil y México) acaparan más del 75% de los proyectos, mientras que África y Oriente Medio sólo contribuyen con el 2% del total de proyectos y no existe ninguno en los países más pobres. Esta situación ha sido subrayada con preocupación por el Comité Ejecutivo del MDL respecto a las consecuencias de la falta de distribución equitativa de los proyectos a escala regional y subregional. Los países con Índice de Desarrollo Humano (IDH) alto reciben 13 veces más reducciones de emisión y 114 veces más proyectos que los de IDH bajo.

El impacto de los proyectos MDL sobre las comunidades locales es muy reducido, y negativo cuando los procesos de participación y toma de decisiones no se realizan adecuadamente. No se produce una verdadera transferencia de tecnología, porque la población receptora tiene escasa capacidad de apropiación (Guijarro *et al.*, 2008).

La CE apoya la distribución equitativa de los proyectos en el MDL, como se pone de manifiesto en la Alianza Mundial contra el Cambio Climático contenida en la Comunicación de la Comisión «Creación de una alianza mundial para hacer frente al cambio climático entre la UE y los países en desarrollo pobres más vulnerables al cambio climático»²⁶. Las RCE solamente deben provenir de países que hayan ratificado el Protocolo de Kioto.

Dentro de los MDL, la caracterización de los sumideros ha sido muy controvertida en el marco del Convenio.

Ya que la capacidad de absorción del mar parece estar relacionada con la temperatura (a mayor temperatura, menor capacidad de absorción), la posibilidad de contemplar otros sumideros como los bosques, cuyo papel es difícil de cuantificar dentro del MDL, tiene una importancia especial. Con el

²⁶ COM (2007) 540 final - no publicada en el DO.

mercado de reducciones de GEI y la existencia de una moneda de cambio con un precio establecido, la tonelada de CO₂ equivalente (t CO₂-e)²⁷, la reducción de emisiones de GEI puede ser una fuente adicional de ingresos, a través de mecanismos como el MDL. Los bosques que juegan un papel muy importante en el ciclo de carbono pueden contribuir al objetivo último del MDL y al fomento del desarrollo rural sostenible.

La revisión de la posible normativa y modalidades a aplicar comenzó en la COP-6 y finalmente concluyó en la IX Conferencia de las Partes [COP-9, Milán (Italia) diciembre 2003]. Allí se fijaron las Modalidades y Procedimientos, que se contienen en la Decisión 13/COP.9, para los proyectos de actividades de forestación y reforestación en este mecanismo durante la primera etapa del Protocolo de Kioto (2008-2012). La Decisión determina que los proyectos forestales pueden dar lugar a dos tipos de RCE: Temporales y a Largo Plazo y los usos del suelo en que se asientan se divide en seis categorías:

1. Bosques.
2. Cultivos.
3. Pastizales.
4. Humedales.
5. Asentamientos humanos.
6. Otras tierras.

Posteriormente se han adoptado nuevas directrices para ejecución de proyectos MDL en relación a las actividades de forestación y reforestación. Para esto se ha elaborado una “Guía para la preparación del documento de diseño del proyecto” (IDAE, 2009), que incorpora nuevas metodologías para la base de referencia y de vigilancia”

Hay que decir que todavía no se ha acordado todavía el papel que los proyectos sobre usos del suelo y conservación de los bosques van a jugar dentro del MDL en la etapa post-Kioto (2013-2017). Según los Acuerdos de

²⁷ Tonelada de CO₂ equivalente es la medida normalizada, dada la diferente intensidad del efecto producido por los distintos GEI.

Marrakech, las reducciones de emisiones relacionadas con los usos de la tierra y sus cambios así como de la silvicultura se limitan, hasta el 2012, a proyectos de *forestación y reforestación*²⁸, y su reglamentación es diferente a la del resto de actividades de reducción de emisiones dentro del mecanismo MDL.

1.1.1.2. Adaptación al cambio climático

La humanidad a lo largo de los tiempos se ha ido adaptando a los efectos de los cambios climáticos gracias a los conocimientos acumulados a través de la experiencia (cambios en las épocas de siembra). De la misma forma, el medio ambiente también se ha ido adaptando a las variaciones climáticas como ocurre en el caso de las modificaciones en los hábitos de migración de las especies silvestres.

No obstante, las consecuencias de la emisión de GEI tienen un efecto a medio y largo plazo que va más allá de los cambios en el clima y se comportan como verdaderos agentes disruptores sobre el funcionamiento de los ecosistemas.

La sociedad humana por un lado y, lo que es más grave, los propios ecosistemas, no han tenido tiempo de desarrollar todavía mecanismos eficaces para asimilar los cambios al ritmo que se están produciendo, lo que puede causar grandes pérdidas económicas y conflictos sociales en un futuro próximo²⁹.

Sus consecuencias se pueden manifestar como inundaciones, sequías y huracanes. El problema es que, en las últimas décadas, éstas se producen con una mayor regularidad y el crecimiento exponencial de la población mundial hará que afecten cada vez más a mayor número de personas.

²⁸ En España los estudios de Montero *et al.* (2007) realizados por el Instituto Nacional de Investigación Agraria y la Dirección General de Biodiversidad, han estimado en 75 millones de toneladas de CO₂, la cantidad de este gas fijada por los bosques españoles, analizando 34 especies arbóreas. Esta cantidad equivale al 19% de las emisiones anuales de España, en 2006 (Álamo, 2008).

²⁹ El calentamiento global ya ha dado lugar a “los refugiados del cambio climático” o personas que se han visto obligadas a abandonar sus hogares por no disponer de agua y alimentos, especialmente en África, Iberoamérica y Asia.

Hoy en día, la evidencia aceptada de manera oficial por el IPCC sobre el hecho de que el cambio climático es una realidad, nos permite tomar conciencia de la necesidad de emprender acciones para adaptarnos a sus efectos con suficiente antelación. Ya no es suficiente con enviar ayuda humanitaria a los países más pobres cuando son víctimas de los efectos del cambio en el clima, sino que es preciso tratar adecuadamente y planificar las respuestas a estas vulnerabilidades climáticas.

La capacidad de los países para asimilar el cambio climático depende mucho de su nivel de desarrollo, de sus conocimientos y de su tecnología. Este proceso es más complicado para los países más pobres, que además sufren las consecuencias con mayor frecuencia.

Es necesario alcanzar una mejor formación y concienciación sobre el cambio climático a fin de disponer de adelantos tecnológicos como semillas resistentes a las sequías o construcción de infraestructuras de protección (como diques costeros). En este contexto es necesario evaluar también la relación coste-eficacia de estas medidas en relación con lo que se quiere proteger.

Es evidente que la adaptación al cambio climático es una parte, no suficientemente estudiada, del problema. De hecho, y aunque se ha mencionado en algunas publicaciones, no ha cobrado identidad propia hasta hace poco tiempo (Berkes y Jolly, 2001). Estos estudios realizados en comunidades muy específicas han observado dos tipos de respuesta adaptativa: (1) a corto plazo, lo que podríamos denominar “mecanismos de rápida reparación”³⁰ y (2) a largo plazo, la aparición de mecanismos de adaptación cultural y ecológica³¹.

Algunos autores (Adger, 2004) sugieren la necesidad de determinar la fuerza y la eficiencia de las estrategias de adaptación mediante el desarrollo de indicadores de vulnerabilidad y de capacidad adaptativa por parte de los

³⁰ Un ejemplo sería dónde, cuándo y cómo cazar determinadas especies.

³¹ Cambio de los patrones de caza y el desarrollo de actividades alternativas en ciertas épocas, según sus conocimientos.

países. Consideran que los indicadores de salud, educación y gobernanza proporcionan una buena evaluación de la vulnerabilidad a los riesgos asociados al clima.

En la actualidad, la adaptación³² es un complemento necesario de las políticas de mitigación de emisiones de GEI que provocan el calentamiento global. La mitigación y la adaptación se han considerado los pilares fundamentales de la lucha global contra el cambio climático, por primera vez en la COP-13 celebrada en Bali (Indonesia) en diciembre de 2007.

Ambos enfoques, mitigación y adaptación, están estrechamente ligados. El grado de cambio en las distintas variables climáticas está en función de la concentración de GEI en la atmósfera y estos a su vez dependen de las políticas de mitigación. No es lo mismo orientar las acciones de adaptación para una elevación prevista de la temperatura global de 2°C que para una elevación de 4°C.

1.1.1.3. Aplicación del protocolo de Kioto en la UE

En el ámbito de la UE, y con objeto de preparar el terreno para la ejecución de las medidas de lucha contra el cambio climático establecidas en el Protocolo de Kioto, la UE presentó en el año 2000 una Comunicación sobre políticas y medidas para reducir las emisiones de GEI, en la que se desarrolla el Primer Programa Europeo sobre el Cambio Climático 2000-2004³³.

El Programa ha creado una estructura inter-servicios para coordinar la preparación de las mencionadas medidas, que corre a cargo de un Comité Directivo formado por representantes de este Programa europeo. El Comité, a su vez, crea grupos de trabajo en los que participan los representantes de la UE y de los Estados miembros, la industria y las organizaciones no

³² El IPCC define “adaptación” en su 4º informe como: *..el ajuste en los sistemas naturales o humanos en respuesta a estímulos climáticos o a sus efectos actuales o esperados, que modera el daño o explota los posibles beneficios.*

³³ Comunicación de la Comisión Europea de 8 de marzo de 2000, sobre políticas y medidas de la UE para reducir las emisiones de GEI: hacia un Programa Europeo sobre el Cambio Climático (PECC) [COM (2000) 88 final - no publicada en el D0].

gubernamentales (ONG) que se centran en los temas del transporte, la industria, el suministro y el consumo de energía, los mecanismos de flexibilidad, los residuos, la agricultura o la investigación. Durante el desarrollo de este programa, la UE ha ido adoptando diferentes instrumentos estratégicos³⁴.

El Programa ha tenido su traducción en las iniciativas legislativas, que se iniciaron con la Decisión por la que se aprueba el Protocolo de Kioto³⁵, reforzando el régimen internacional de comercio de derechos de emisión a través de las Directiva 2003/87/CE³⁶ y la Directiva 2004/101/CE³⁷. En el ámbito energético en relación con el transporte, la Directiva 2003/30/CE³⁸ de biocarburantes.

En noviembre de 2005, la UE acordó la puesta en marcha del Segundo Programa Europeo (también denominado *Segunda Fase*) sobre Cambio Climático (2005-2009)³⁹. Su objetivo era revisar los progresos llevados a cabo y plantear opciones más económicas y sostenibles para la reducción de las emisiones, así como revisar el funcionamiento del sistema europeo de comercio de emisiones. Esta segunda fase se ha centrado en las emisiones relacionadas con los transportes, en el fomento de las innovaciones

³⁴ Libro Verde sobre el comercio de los derechos de emisión de GEI en la Unión Europea [COM (2000) 87 final- no publicado en el DO].

Comunicación de la Comisión, de 23 de octubre de 2001, acerca de la ejecución de la primera fase del Programa Europeo sobre el Cambio Climático [COM (2001) 580 final- no publicada en el DO].

Comunicación de la Comisión, de 9 de febrero de 2005, «Ganar la batalla contra el cambio climático mundial» [COM (2005) 35 final- DO C 125 de 21.05.2005, pp. 1-19].

³⁵ Decisión 2002/358/CE del Consejo, de 25 de abril de 2002, relativa a la aprobación, en nombre de la Comunidad Europea, del Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y al cumplimiento conjunto de los compromisos contraídos con arreglo al mismo [DO. L 130 de 15.05.2002, pp. 4-20].

³⁶ Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 13 de octubre de 2003 por la que se establece un régimen para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en la Comunidad y por la que se modifica la Directiva 96/61/CE del Consejo. DO. L 275 de 10.10.96, pp. 32-46.

³⁷ Directiva 2004/101/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de octubre de 2004, por la que se modifica la Directiva 2003/87/CE, por la que se establece un régimen para el comercio de derechos de emisión de GEI en la Comunidad con respecto a los mecanismos de proyectos del Protocolo de Kioto. DO. L 338 de 13.11.2004, pp. 18-24.

³⁸ Directiva 2003/30/CE, de 8 de mayo de 2003, relativa al Fomento del uso de biocarburantes u otros combustibles renovables en el transporte. DO. L 123 de 17.05.2003, pp. 42-49.

³⁹ http://ec.europa.eu/clima/policies/eccp/docs/eu_climate_change_progr.pdf

tecnológicas que promuevan la eficiencia energética y en la adaptación al cambio climático.

Posteriormente, la UE ha ampliado también su campo de acción al objetivo de la limitación del incremento medio mundial de la temperatura a 2°C, respecto del nivel preindustrial, en una Comunicación⁴⁰ presentada en enero de 2008. De acuerdo con la Comunicación se considera que esa variación de temperatura es el límite máximo a partir del cual las repercusiones del cambio climático tendrán efectos catastróficos.

En la primavera de 2008 y con objeto de promover el cumplimiento del compromiso⁴¹ del Consejo Europeo⁴² en relación con la reducción de emisiones, la CE presentó una propuesta base de medidas sobre energía y cambio climático con el objetivo 2020⁴³, sobre la que el Consejo Europeo de 11 y 12 de diciembre de 2008 alcanzó un acuerdo político sobre las cuestiones más relevantes, que el pleno del Parlamento Europeo votó y aprobó mayoritariamente en diciembre de 2008 (MARM, 2008).

Los objetivos de este paquete de medidas para 2020 son:

- Reducir las emisiones totales de GEI al menos en un 20% respecto de los niveles de 1990, y en un 30% si otros países desarrollados se comprometen a reducciones de emisiones equivalentes y los países en desarrollo contribuyen adecuadamente en función de sus posibilidades.
- Alcanzar el objetivo del 20% de consumo de energías renovables.

⁴⁰ Comunicación de la Comisión, de 10 de enero de 2007, «Limitar el calentamiento mundial a 2°C - Medidas necesarias hasta 2020 y después» [COM (2007) 2 final - no publicada en el DOJ].

⁴¹ El Consejo Europeo acordó convertir a Europa en la economía más eficiente energéticamente y de nivel más bajo de emisiones de GEI y adoptó el compromiso unilateral de reducir sus emisiones para 2020 en un 20%.

⁴² Reunión de Jefes de Gobierno de los 27 socios comunitarios.

⁴³ El objetivo de reducción del 20 % con respecto a 1990 acordado por los dirigentes europeos en 2007 era imposible de alcanzar de no aplicarse el conjunto de las propuestas legislativas que componen el paquete de medidas comunitarias en el ámbito de la energía y el cambio climático, presentadas por la CE el 23 de enero de 2008.

- Aumentar la incorporación de biocombustibles en el transporte hasta el 10% para esa misma fecha.

En abril de 2009, la UE adoptó una Decisión sobre el compromiso de los Estados miembros para reducir sus emisiones de GEI con el objetivo 2020 en aquellos sectores que no estaban incluidos en el comercio de emisiones, como el transporte, la edificación, la agricultura y los residuos⁴⁴. El objeto era fijar la contribución mínima de cada Estado miembro⁴⁵ al cumplimiento del compromiso de la UE de reducción de las emisiones de GEI para el período comprendido entre los años 2013 a 2020 y establecer las normas relativas a sus contribuciones y a la evaluación del grado de cumplimiento.

Para desarrollar estos objetivos, la CE presentó en mayo de 2010 una Comunicación⁴⁶ que analizaba las consecuencias de una política que reduciría el 30% las emisiones de GEI. Se ha comprobado el efecto de la crisis económica en la reducción de las emisiones de la UE, el 14% en 2009 frente al 11,6% del 2008. Así para superar los objetivos de 2020 la CE considera que deben ponerse en marcha una serie de opciones:

- Adaptación del sistema de intercambio de asignaciones de emisiones constituyendo una reserva de derechos de emisión, para su subasta.
- Recompensa a los actores del sistema que inviertan en tecnologías de mayor rendimiento en términos de reducción de emisiones, con derechos gratuitos de emisión sin asignaciones adicionales.
- Nuevos impuestos sobre las emisiones de carbono.
- Adopción de políticas de la UE para impulsar la reducción de emisiones.
- Utilización de instrumentos de créditos internacionales para favorecer las tecnologías más eficaces para reducción de emisiones.

⁴⁴ Decisión 406/2009/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009 sobre el esfuerzo de los Estados miembros para reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero a fin de cumplir los compromisos adquiridos por la Comunidad hasta 2020. DO L 140 de 5.6.2009, pp. 136-148.

⁴⁵ De acuerdo con esta Decisión, a España le corresponde una reducción de un 10% de sus emisiones para 2020 con respecto a los niveles de 2005.

⁴⁶ Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones, de 26 de mayo de 2010, denominada «Análisis de las opciones para rebasar el objetivo del 20% de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y evaluación del riesgo de fugas de carbono» [COM 2010) 265 final – no publicada en el DO].

Se subraya que el coste total de una reducción del 30% de las emisiones sería de 81.000 millones de euros, cifra que supera considerablemente el coste inicial del paquete de medidas «clima y energía», estimado en 70.000 M€⁴⁷. En este sentido es importante destacar las reflexiones del “Informe Stern” (2007) que afirma que los GEI necesitan estabilizarse en 450-550 partes por millón (ppm) de CO₂, lo que supone una reducción de un 25% para 2050. El informe estima que si no se adoptan medidas, el coste y los riesgos del cambio climático serán equivalentes a la pérdida del 5% del producto interior bruto (PIB) mundial cada año, mientras que el coste de la mitigación se limitaría a un 1% de este parámetro. También recomienda unos elementos principales en la toma de decisiones política: impuestos al carbono, apoyo a la innovación y despliegue de tecnologías bajas en carbono, y eliminación de barreras a la eficiencia energética, así como educar e informar a las personas sobre lo que pueden aportar.

En junio de 2007 la CE publicó su “Libro Verde”⁴⁸ para mejorar la concienciación sobre las cuestiones prioritarias en Europa que deben tenerse en cuenta para planificar las políticas de adaptación. El documento recomienda integrar, en el ámbito europeo, las necesidades de adaptación al cambio climático en las políticas internas y externas de la UE, fomentar la investigación sobre el cambio climático y trabajar en la implicación de la población en las estrategias de adaptación.

Meses más tarde se adopta la Directiva CE/2007/60⁴⁹ que obliga a los Estados miembros a evaluar y gestionar los riesgos de inundación⁵⁰. La Directiva exige, entre otros:

⁴⁷ La Comisión remarca la importancia de una coordinación internacional al respecto para asumir el objetivo del 30%

⁴⁸ Libro Verde de la Comisión al Consejo, al Parlamento Europeo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones- Adaptación al cambio climático en Europa: Opciones de actuación para la UE. COM (2007) 354 final, de 29 de junio de 2007. (No publicado en el DO).

⁴⁹ Directiva 2007/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2007 relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación. DO L 287 de 6.11.2007 pp. 27-35.

⁵⁰ Las inundaciones son una de las catástrofes naturales que provoca mayor número de víctimas en el mundo. En el siglo XX unas 3,2 millones de personas han perdido la vida por este motivo. En España son un grave problema económico y social especialmente en la zona mediterránea y en el Norte de la Península.

- La elaboración de mapas de peligrosidad por inundaciones y mapas de riesgo de inundación, en las zonas que presentan un riesgo potencialmente significativo, antes de 2013. Los mapas deben considerar las posibles consecuencias tanto en el caso de inundaciones extremas como la probabilidad media de inundación.
- La adopción de Planes de gestión del riesgo de inundación antes de 2015, con objeto de reducir los riesgos de inundación.
- La actualización de esta información cada seis años, para irse adaptando a los riesgos de inundación ligados al cambio climático a medida que se adquiere mayor conocimiento.
- Los Estados miembros deben basar sus evaluaciones, mapas y planes en «mejores prácticas» y «mejores tecnologías disponibles» adecuadas, que no entrañen costes excesivos en el ámbito de la gestión del riesgo de inundación.

La CE, además, abrió un debate público en 2008 para conocer la mejor manera de combatir la escasez de agua y las sequías, que en los últimos treinta años han cobrado intensidad y se producen con mayor frecuencia. Se calcula que han costado a la economía europea unos 100.000 M€.

1.1.2. El modelo energético: Renovables *versus* energía nuclear

Existe consenso internacional que dice que, a la vista de la tendencia actual, en el futuro aumentará la demanda energética en cifras relevantes. Las previsiones de crecimiento de la población sitúan la población mundial en 8.000 M para el 2025, y la mayoría de este incremento se concentra en países en vías de desarrollo y economías en transición, como la India y Brasil (Kohli *et al.*, 2009). En este sentido la definición del modelo energético⁵¹ es fundamental.

⁵¹ Se trata de un proyecto matemático a gran escala diseñado para replicar el funcionamiento de los mercados energéticos. Utiliza una proyección detallada sector por sector y por regiones para varios escenarios. El modelo consta de seis módulos: (1) demanda de energía (incluyendo residencial, servicios, agricultura, industria y transporte); (2) producción energética y calor; (3) refinerías/petroquímicas; (4) aporte de energía fósil; (5) emisiones de CO₂ y (6) inversiones (AIE, 2010).

Como objetivo prioritario, cada sociedad debe adoptar una estrategia energética a medio y largo plazo cuya necesidad se fundamenta en las siguientes razones:

- No se puede trabajar hacia un desarrollo sostenible sin disponer de fuentes de energía eficientes.
- Los recursos energéticos son limitados y hay que gestionarlos de forma racional.
- Todas las fuentes energéticas producen impacto sobre el medio ambiente.
- Los precios de la energía deben ser asequibles para la población y contemplar medidas de ahorro.
- Los países deben ejercer el control social efectivo de todas las fases del ciclo energético de sus fuentes primarias.

El desafío mundial ante los objetivos de Desarrollo del Milenio⁵² es atender la creciente demanda de energía y controlar las emisiones de GEI,

⁵² Los ocho Objetivos de Desarrollo del Milenio adoptados en la Cumbre de las NN.UU. del año 2000 representan un compromiso para abordar aspectos tan universales como la paz, la seguridad, el desarrollo, los derechos humanos y las libertades fundamentales. Abarcan desde la reducción de la pobreza en el mundo en un 50%, la detención de la propagación del VIH/SIDA y la consecución de la enseñanza primaria universal para el año 2015, hasta el acceso al agua potable y el saneamiento. Las repercusiones que puede implicar el cambio climático afectan directa y/o indirectamente a cada uno de estos objetivos y suponen una dificultad para su consecución que se suma a las ya existentes. Por tanto pueden suponer un obstáculo para su consecución y una forma de aumentar la brecha que separa al mundo desarrollado de los países más pobres.

El aumento de las temperaturas y la pérdida de la humedad del suelo representan una seria amenaza para aquellas zonas que ya presentan un importante déficit en la producción de alimentos. En este sentido, el África subsahariana, la región más afectada por el hambre y la malnutrición, la producción de cultivos es especialmente sensible a las variaciones del clima. La disminución de los recursos pesqueros supondrá igualmente un mayor riesgo de malnutrición al depender su ingesta de proteínas en un grado muy importante de la pesca. Los desastres naturales y la sequía reducen el tiempo disponible de los niños, que se desvía a labores domésticas. Además los desplazamientos y las migraciones de población debidas a los efectos climáticos, también disminuyen las oportunidades de recibir una educación adecuada.

Las mujeres constituyen uno de los sectores más desfavorecidos de la sociedad. Mantienen una estrecha relación con la naturaleza. Su elevada dependencia de la agricultura, de los recursos forestales y pesqueros y de la biomasa como fuente de energía, las convierten en un sector especialmente vulnerable a los efectos adversos de la deforestación, la desertificación y la degradación de los ecosistemas intensificada por el cambio climático.

Muchas enfermedades infecciosas transmitidas por vectores (como la malaria, el dengue y la fiebre amarilla), o por alimentos y agua (como la diarrea y el cólera) son sensibles a cambios de las condiciones climáticas. Muchos estudios predictivos alertan del posible aumento del dengue y el paludismo que en la actualidad afectan a entre el 40 y el 50% de la población mundial, sin menospreciar el riesgo de aumento de diarreas por la falta de acceso al agua potable.

particularmente el CO₂, a través de políticas como el ahorro y la eficiencia energética.

Para reducir las emisiones de GEI precisamos producir más electricidad, combustibles para el transporte y producción industrial a partir de fuentes renovables, energía nuclear o a partir de los combustibles fósiles utilizados de una forma más eficiente. Si bien los costes del cambio de tecnologías pueden ser elevados, en último término conducen a un ahorro económico y de recursos. El objetivo actual es por tanto que las fuentes de energía menos contaminantes vayan reemplazando a los combustibles fósiles como base del suministro de energía. Es importante, además, potenciar el efecto de los llamados sumideros de carbono. Las plantas verdes utilizan únicamente la luz solar como fuente de energía, absorben CO₂ de la atmósfera, liberan oxígeno y almacenan el carbono de forma segura y útil. Los bosques, que ofrecen a la humanidad toda una serie de beneficios, pueden estar de nuestro lado en la batalla contra el cambio climático.

En esta lucha tendrá también gran importancia el cambio de los modelos de producción y consumo hacia otros más sostenibles, y el papel de los Gobiernos a la hora de fomentar políticas más avanzadas y responsables para influir en el comportamiento de las empresas y en los hábitos de la población. Por ejemplo, un número significativo de Gobiernos están estableciendo normas sobre eficiencia energética de los electrodomésticos; utilizando instrumentos económicos y fiscales para estimular el cambio del modelo de transporte por aquellos que consumen menos combustible por

En cuanto a los ecosistemas del planeta, el cambio climático se va a sumar a las presiones que estos sufren, incluido el riesgo de extinción de especies. Ambos aspectos están además íntimamente ligados a la pobreza.

En relación con la reducción a la mitad para el año 2015 del porcentaje de personas sin acceso al agua potable y al saneamiento básico, el calentamiento global está agudizando el estrés hídrico que sufren algunas regiones a través de los cambios observados en los patrones de las precipitaciones y en los niveles de lagos, embalses y reservas de agua subterránea, con lo cual cada vez es más difícil trabajar por ese objetivo. Las escorrentías e inundaciones que cada año son más numerosas, provocan un aumento de contaminantes procedentes de instalaciones para desecho. Así, la falta de acceso al agua potable y a un adecuado saneamiento es una de las principales causas de enfermedad en países en desarrollo.

Es evidente que los asentamientos humanos sufren en la actualidad importantes problemas ambientales que pudieran agravarse en regímenes de más elevada temperatura y mayor precipitación como los relacionados con recursos de agua y energía y la infraestructura y el tratamiento de desechos (IPADE, 2006).

tonelada (t) de mercancías transportadas (barco y ferrocarril); fijando "tarifas verdes" para estimular el uso de la energía renovable; creando programas de subvenciones e incentivos para influir en la organización y gestión de las actividades agrícolas de manera que permitan adaptarse mejor al cambio climático y, replanteándose sus políticas nucleares a la vista de la necesidad de suplir energía limpia y reducir las emisiones de GEI.

La adopción de la opción energética óptima, especialmente en el mundo occidental, se encuentra sometida a un gran debate desde hace varios años. La crisis del petróleo por la fluctuación de los precios y la certeza de que es un recurso finito, llevaron a los Gobiernos a tener que plantearse un modelo alternativo. En su momento, en los años 60 se apostó por la energía nuclear como fuente segura de producción de energía, en la que el principal obstáculo era el almacenamiento de los residuos radiactivos, una vez adoptadas todas las medidas de seguridad. El accidente de Chernobil (Rusia) en 1986, el más grave de la historia, trastocó todos estos planes ya que provocó en el mundo occidental un fuerte debate sobre la seguridad de las grandes instalaciones nucleares y comenzó entre los sectores más progresistas una apuesta por las energías renovables, todavía en desarrollo. El debate se ha complicado en la actualidad por el calentamiento global que provocan las emisiones de GEI a la atmósfera, y la necesidad de cumplir con los compromisos de reducción de emisiones del Protocolo de Kioto, en el marco del CMNUCC. En este sentido la energía nuclear se considera actualmente como la única fuente capaz de cubrir las necesidades de energía sin provocar un aumento de emisiones a la atmósfera, debido a que la energía solar y eólica no es regulable y por tanto no pueden responder en los casos de picos de demanda.

Un hecho importante en la UE fue el anuncio del Gobierno alemán⁵³ en junio del 2000, por parte del Ministro de Medio Ambiente, Conservación de la Naturaleza y Seguridad Nuclear, Jürgen TRITIN de cerrar progresivamente sus 19 centrales nucleares para el año 2020, tras el acuerdo alcanzado con las

⁵³ Coalición entre el Partido Socialdemócrata Alemán (SPD) y Los Verdes

compañías energéticas. El acuerdo se basaba en el cálculo de funcionamiento medio durante 32 años de una central nuclear⁵⁴.

Curiosamente, la actual canciller alemana Angela MERKEL que pertenece a la Unión Cristiano Demócrata (CDU), anunció su decisión, en enero de 2010, de ampliar el tiempo de funcionamiento de las centrales sobre la base de asegurar la producción de energía. En su opinión las energías renovables no son aún suficientes para compensar el cierre de las centrales nucleares. Las centrales más recientes funcionarán 14 años más de lo que estaba previsto y las más antiguas, construidas antes de 1980, contarán con 8 años de vida adicionales. No obstante, a raíz de esta decisión el Gobierno alemán creó un puente entre el nuevo acuerdo y el fomento de las energías renovables, de manera que las empresas que producen energía atómica deberían contribuir para la inversión nacional en energías renovables (DER SPIEGEL, 2010).

No obstante, y con toda seguridad, el accidente nuclear acaecido en la central de Fukushima (Japón) a raíz del terremoto que tuvo lugar el 11 de marzo de 2011 y el posterior tsunami, va a hacer que muchos países se replanteen de nuevo su política energética futura.

En la actualidad en los países occidentales todas las centrales nucleares se construyen siguiendo unas normas y especificaciones de seguridad muy estrictas a prueba de terremotos o maremotos y otros posibles fenómenos naturales y artificiales (caída de aeronaves o impacto de misiles). La central de Fukushima que contaba con 6 reactores, resistió de hecho el fuerte terremoto, pero las olas del “tsunami” posterior, que superaron la altura prevista, inutilizaron los generadores diesel de emergencia, lo que dio lugar a una pérdida total de la alimentación eléctrica ya que no había suministro exterior, lo que dificultó el funcionamiento adecuado de los sistemas de refrigeración de los reactores.

El aumento de la temperatura y la consiguiente disminución del nivel de agua en el reactor dieron lugar a la fusión parcial del núcleo de algunos de los reactores y a explosiones de hidrógeno que produjeron grietas en diversas

⁵⁴ BBC NEWS, 2000. Disponible en: <http://news.bbc.co.uk/2/hi/europe/791597.stm>

estructuras. La necesidad de efectuar emisiones gaseosas controladas para compensar el aumento de presión, y la existencia de dichas grietas, han dado lugar a la liberación de materiales radioactivos al medio ambiente.

Lo acaecido en Japón ha puesto de nuevo en evidencia el riesgo para la salud humana y el medio ambiente que supone la falta de control sobre los reactores nucleares en determinadas catástrofes naturales y ha reavivado el debate sobre la energía atómica en toda Europa. La primera dirigente que ha tenido que revisar su política nuclear a raíz del “accidente de Fukushima” ha sido Angela MERKEL que ha dado la vuelta a su política energética tras numerosas manifestaciones populares por todo el país, la postura de la oposición y las últimas elecciones regionales. De este modo tomó la decisión de revisar la vida útil de las centrales alemanas. En primer lugar paralizó temporalmente las 7 centrales nucleares más antiguas y aseguró que desconectará estos reactores de los años 70, aunque no concretó cuáles ni cuándo lo hará.

Por su parte, los países de la UE y la industria nuclear han llegado a un consenso para someter a las centrales nucleares europeas a pruebas de resistencia para comprobar su seguridad. Las pruebas tendrán carácter "voluntario" y se realizarán a lo largo de 2011.

En la actualidad el debate ético se está planteando en los términos de que si es más grave el coste económico, social y ambiental que derivará del cambio climático o asumir el riesgo de la utilización de la energía nuclear.

La UE, que ya hizo una fuerte apuesta por las energías renovables en 1997 como se muestra en el Libro Blanco por el que se establece una “Estrategia y un Plan de Acción comunitario para la promoción de las energías renovables”⁵⁵, por la necesidad de garantizar la seguridad del abastecimiento energético mediante una diversificación de las fuentes, y la importancia de reducir la dependencia del petróleo (Ver epígrafe 3.1.1.1.1). En la actualidad la sociedad demanda fuentes de energía limpias. La eficiencia energética y la

⁵⁵ Comunicación de la Comisión Energías renovables: Libro Blanco por el que se establece una estrategia y un plan de acción comunitarios. COM (97) 599 final, de 29 de noviembre de 1997. No publicada en el DO.

diversificación se han convertido en altas prioridades en términos de generación y uso de energía.

El último Euro barómetro⁵⁶ específico sobre energía se ha llevado a cabo en 2011. El estudio revela que el 79% de los ciudadanos europeos apoya la solidaridad entre Estados en caso de problemas en el suministro energético. El 60% consideran que la política energética debe ser fijada por la UE y no por los Estados. Asimismo ven prioritario el desarrollo de las energías renovables, la estabilidad de precios y la seguridad del suministro energético. Solamente un 16% de los ciudadanos piensan que es prioritaria la eficiencia energética, a pesar del fuerte compromiso de la UE en esta materia. Esta información contrasta con la investigación anterior (2007) en la que la producción de energía no era una preocupación especial para los ciudadanos. Solamente el 14% lo consideraba prioritario, frente al desempleo (64%), la seguridad (36%) y la salud (30%).

Las energías alternativas más importantes son: eólica⁵⁷; solar⁵⁸; hidroeléctrica⁵⁹; geotérmica⁶⁰; biomasa⁶¹ (IDAE. 2010).

Los argumentos que tradicionalmente se han esgrimido a favor o en contra de un tipo u otro de energía se relacionan en la Tabla 1.

⁵⁶ The Europeans and energy. Disponible en: http://ec.europa.eu/energy/studies/doc/20110131_eurobarometer_energy.pdf

⁵⁷ Energía eólica es aquella que es producida por el viento. Supone el 2% de la energía solar que se transforma en cinética. Es aprovechada a través de los aerogeneradores o estructuras similares a molinos. Es difícilmente regulable.

⁵⁸ Energía solar es aquella producida por las radiaciones solares. El sol está en la base de la producción de todas las energías renovables. La solar puede ser térmica (producción de calor), fotovoltaica (producción de electricidad) y termoeléctrica. Se recoge a través de placas solares pero no se acumula.

⁵⁹ Energía hidroeléctrica es aquella que transforma la energía potencial de un curso de agua - como consecuencia de la diferencia de nivel entre dos puntos- en energía eléctrica disponible.

⁶⁰ Energía geotérmica es la que proviene del calor interior de la tierra. Se encuentra almacenada bajo la superficie terrestre ligada a volcanes, aguas termales, fumarolas y géiseres.

⁶¹ Energía de la biomasa es la que procede de la transformación de la materia orgánica, de origen vegetal o animal. En ella se incluye la producción de biocarburantes.

Tabla 1. Comparación de ventajas e inconvenientes de la energía nuclear y las energías renovables.

	PROS	CONTRAS
ENERGÍA NUCLEAR	<ul style="list-style-type: none"> - En general la energía nuclear se puede considerar como una energía limpia ya que no produce emisiones de GEI que son dañinos para la salud humana y para el medio ambiente, por tanto necesaria para cumplir con el Protocolo de Kioto. - Es muy manejable porque el combustible y los residuos son sólidos. - Produce gran cantidad de energía. - La producción es regulable y por tanto necesaria para cubrir los picos de demanda - Ofrece gran cantidad de puestos de trabajo. 	<ul style="list-style-type: none"> - El tratamiento de los residuos que produce esta actividad es el mayor problema que existe asociado a su utilización, ya que se calcula que la inactivación de los mismos puede conllevar miles de años. - La construcción de centrales nucleares y su desmantelamiento, una vez transcurrido su vida útil, son muy costosos. - Requiere unas medidas de seguridad extremas por el riesgo asociado a la radiación. - La construcción de cementerios nucleares es enormemente polémica. - En caso de accidente, los efectos son devastadores (Chernobil, Fukushima)

	PROS	CONTRAS
ENERGÍAS RENOVABLES	<ul style="list-style-type: none"> - No producen emisiones de GEI a la atmósfera. - Utilizan recursos renovables (agua, sol, viento, biomasa). - Crean muchos puestos de trabajo, directos e indirectos. 	<ul style="list-style-type: none"> - La energía producida no es regulable, excepto la hidráulica. - Actualmente son muy costosas por lo que necesitan estar subvencionadas. - Precisan de una fuerte inversión tecnológica en la actualidad. - Precisan de grandes extensiones y cambian radicalmente el paisaje y el ecosistema: construcción de grandes presas con desplazamiento de población, parques eólicos o solares

1.1.2.1. Otras fuentes de energía.

En la actualidad está cobrando gran interés la investigación sobre los “clatratos” o compuestos en los que las moléculas de un gas están encapsuladas en una red cristalina de moléculas de otro compuesto, generalmente agua. Se sabe que los clatratos de agua están presentes en cantidades abundantes en el fondo oceánico, donde dominan presiones suficientemente elevadas para estabilizarlos. En estos hidratos las moléculas de agua forman una especie de cajas en las que queda atrapado un gas “huésped”, como el metano. Mao (2002) demostró que las moléculas de hidrógeno pueden encapsularse en estructuras “clatrato” a presiones del orden de 2.000 atmósferas que son demasiado elevadas para usarlos como almacén de hidrógeno. La gran ventaja es que su almacenamiento es muy barato en comparación con los hidruros metálicos y representan una fuente de energía nada desdeñable. Estas investigaciones tienen un gran futuro ya que la tecnología de las pilas de hidrógeno es el principal objetivo perseguido por la industria de la locomoción.

1.2. INTRODUCCIÓN A LOS BIOCOMBUSTIBLES

1.2.1. ¿Qué son los biocombustibles? Grandes cifras

Se denomina biocombustible a cualquier sustancia que deriva de la biomasa⁶² y que se utiliza como combustible constituyendo, por definición, una fuente de energía renovable⁶³. Los biocombustibles utilizados como carburantes para el transporte se denominan “biocarburantes”, atendiendo a su supuesto carácter “ecológico” y sustituyen en mayor o menor medida a los combustibles tradicionales, gasolina, queroseno y diesel principalmente. El objetivo de su utilización es doble, por un lado reducir las emisiones de GEI, responsables del calentamiento global que producen los compuestos derivados del petróleo, y por otro reducir la dependencia del mismo.

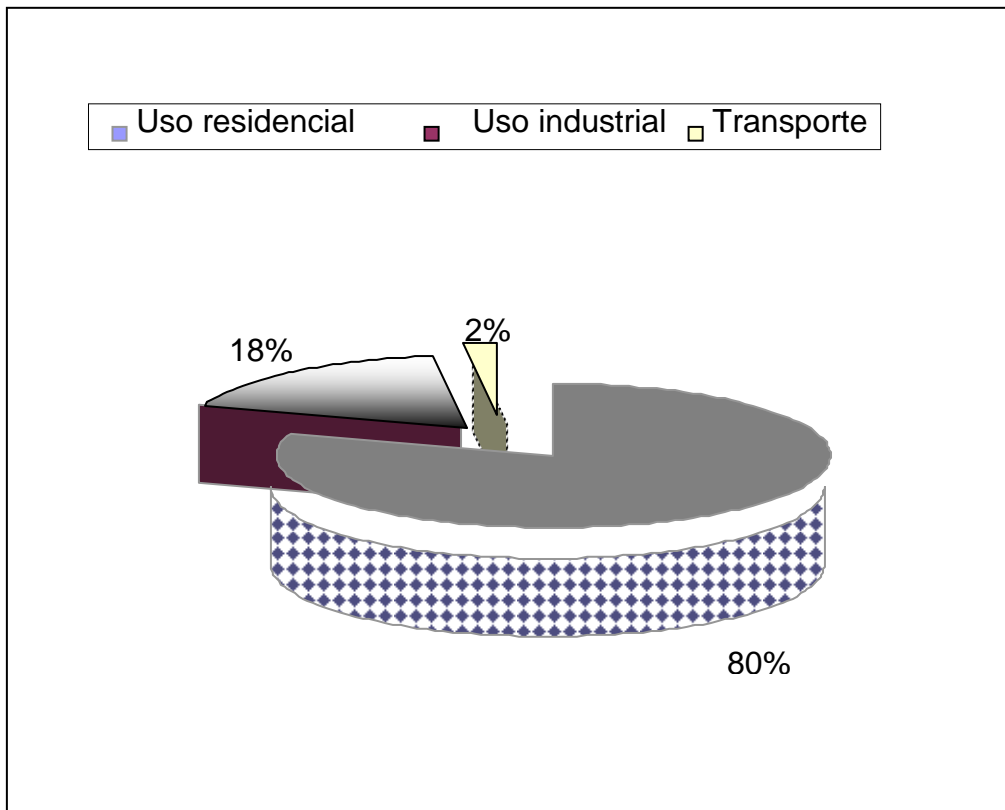
Es bien conocida la utilización de la biomasa como combustible desde los tiempos más remotos para obtener calor y cocinar los alimentos. Se trata de una fuente de energía renovable que representa en la actualidad el 13% del suministro total de energía primaria en el mundo. En algunos países ese porcentaje puede llegar al 90% del consumo total de energía, como ocurre en muchos países en desarrollo (FAO, 2008). En el Gráfico 1 se muestran los porcentajes globales de usos de la biomasa en el mundo.

La mayor parte de la energía de la biomasa se obtiene mediante un proceso de ciclo de vapor, quemándola y haciendo que el vapor obtenido a alta presión se transforme en energía mecánica que produzca energía eléctrica.

⁶² La biomasa se define como: “la fracción biodegradable de los productos, desechos y residuos procedentes de la agricultura (incluidas las sustancias de origen vegetal y de origen animal), de la silvicultura y de las industrias conexas, así como la fracción biodegradable de los residuos industriales y municipales. Existen numerosas definiciones de biomasa pero parece procedente acudir a la norma comunitaria: Directiva 2003/30/CE, relativa al fomento del uso de biocarburantes u otros combustibles renovables en el transporte. DO. L 123 de 17.05.2003, pp. 42-49.

⁶³ El IDAE los define como: *conjunto de combustibles líquidos provenientes de distintas transformaciones de la biomasa, y que al presentar determinadas características físico-químicas similares a los carburantes convencionales derivados del petróleo, pueden ser utilizados en los motores de los vehículos en sustitución de los mismos. Esta definición debería hacerse extensiva a los gaseosos para incluir el biogas* (IDAE, 2005). Plan de Energías Renovables 2005-2010

Gráfico 1.- Usos de la biomasa



Fuente: AGENCIA INTERNACIONAL DE LA ENERGÍA (AIE) (2004)

Los biocombustibles pueden ser sólidos, líquidos o gaseosos. Los primeros son la leña, el carbón vegetal y el estiércol y representan en la actualidad el 99% de todos los biocarburantes utilizados a escala mundial. La Tabla 2 relaciona los diferentes tipos de biocarburantes existentes de acuerdo con su estado.

Tabla 2.- Clasificación y Glosario de Biocarburantes

Biocarburante	- Combustible líquido o gaseoso para el transporte producido a partir de la biomasa.
Biomasa	- Fracción biodegradable de los productos, desechos y residuos de la agricultura (incluyendo sustancias de origen vegetal y animal), de la silvicultura y de las industrias conexas, así como la fracción biodegradable de los residuos industriales y municipales.
Biocarburantes sintéticos	- Hidrocarburos sintéticos o mezclas de hidrocarburos sintéticos producidos a partir de la biomasa (gas sintético producido por la gasificación de la biomasa forestal o el diesel sintético).

I. Biocarburantes líquidos

Bioetanol	<ul style="list-style-type: none"> - Etanol producido a partir de la biomasa y/o la fracción biodegradable de los residuos, para su uso como biocarburante. - E5 contiene 5% etanol y 95% de gasolina. - E85 contiene 85% etanol y 15% de gasolina.
Biodiesel	<ul style="list-style-type: none"> - Ester metílico producido a partir de aceites vegetales, animales o grasas recicladas y aceites de calidad diesel para su uso como biocarburante. - B5 es una mezcla de diesel obtenido del petróleo (95%) y biodiesel (5%). - B30 es una mezcla de diesel obtenido del petróleo (70%) y biodiesel (30%). - B100 es biodiesel no mezclado.
Biometanol	- Metanol producido a partir de la biomasa para su uso como biocarburante.
Bio-ETBE	- Etil-ter-butil-eter (ETBE) producido a partir del bioetanol. ETBE se usa como aditivo del carburante para incrementar su octanaje y reducir la vibración. La fracción volumétrica de Bio-ETBE que se computa como biocarburante es del 47%.
Bio-MTBE	- Metil-ter-butil-eter (MTBE) obtenido del biometanol. MTBE se utiliza como un aditivo a los combustibles para aumentar el octanaje y reducir la vibración. La fracción volumétrica de Bio-MTBE que se computa como biocarburante es del 36%.
BtL	Biomasa para líquido
Aceite vegetal puro	Aceite producido a partir de plantas a través del prensado, extracción o procedimientos similares, crudo o refinado pero sin modificar químicamente, que se puede utilizar como biocarburante cuando es compatible con el tipo de motor y las correspondientes emisiones.

II. Biocarburantes gaseosos

Bio-DME	- Dimetil-eter producido a partir de la biomasa, para ser utilizado como biocarburante
Biogas	- Combustible gaseoso obtenido de la biomasa y/o de la fracción degradable de residuos que se pueden purificar para obtener gas natural de calidad para utilizarse como biocarburante.
-	- Hidrogeno obtenido de la biomasa y/o la fracción degradable de residuos para utilizarse como biocarburante

III. Otros combustibles renovables

	- Combustibles renovables diferentes de los biocarburantes que se originan a partir de Fuentes de energía renovables como las definidas en la Directiva 2001/77/CE y utilizados con fines del transporte.
--	---

Fuente: CE (2007)

Los biocombustibles líquidos tienen un papel bastante modesto en la actualidad y representan solamente el 1.9% de la energía total procedente de la biomasa o bioenergía, utilizándose fundamentalmente para el transporte. Los más importantes son el bioetanol y el biodiesel que, como hemos comentado, sustituyen en mayor o menor medida a la gasolina y al diesel procedente del petróleo. La producción de estos combustibles está sujeta a la disposición de terrenos de cultivo para la obtención de la materia prima, lo que provoca ciertas controversias con la producción de alimentos.

Los biocombustibles gaseosos son el biogás que se produce mediante fermentación anaerobia por bacterias de la materia orgánica, el biometanol producido a partir de la biomasa y el dimetil-éter.

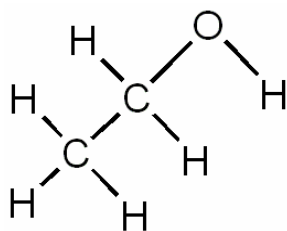
La utilización de biocarburantes para el transporte presenta ventajas de tipo ambiental, energéticas y socioeconómicas.

El **bioetanol** se obtiene de cualquier materia prima con un alto contenido en azúcar como el almidón o la celulosa, si bien el que se encuentra disponible en el mercado se produce fundamentalmente a partir de caña de azúcar (Brasil), remolacha azucarera o el sorgo azucarado, mientras que en otros se obtiene a partir de cereales como el maíz (EE.UU.), la yuca o el trigo. Habitualmente su fabricación implica una fermentación de la biomasa que contiene azúcar y se transforma en alcohol. También puede producirse a partir de materia vegetal que se compone de celulosa, hemicelulosa y lignina. Las primeras pueden transformarse en azúcar y posteriormente fermentar, aunque este procedimiento está actualmente en investigación para producir bioetanol de segunda generación (FAO, 2008).

El bioetanol puede mezclarse con la gasolina o quemarse puro en motores de encendido que deben modificarse ligeramente. Un litro de etanol contiene el 66% de la energía proporcionada por un litro de petróleo, pero tiene un nivel más elevado de octanos. Mezclado con la gasolina, mejora el rendimiento de la misma y se reducen las emisiones de CO y otros hidrocarburos hasta el 25% (AIE, 2004), mientras que al reaccionar con el nitrógeno de la atmósfera puede aumentar de forma marginal los NOx. Las mezclas más habituales son el

denominado E5 que contiene 5% de bioetanol y 95% de gasolina y el E85 que contiene 85% de bioetanol y 15% de gasolina.

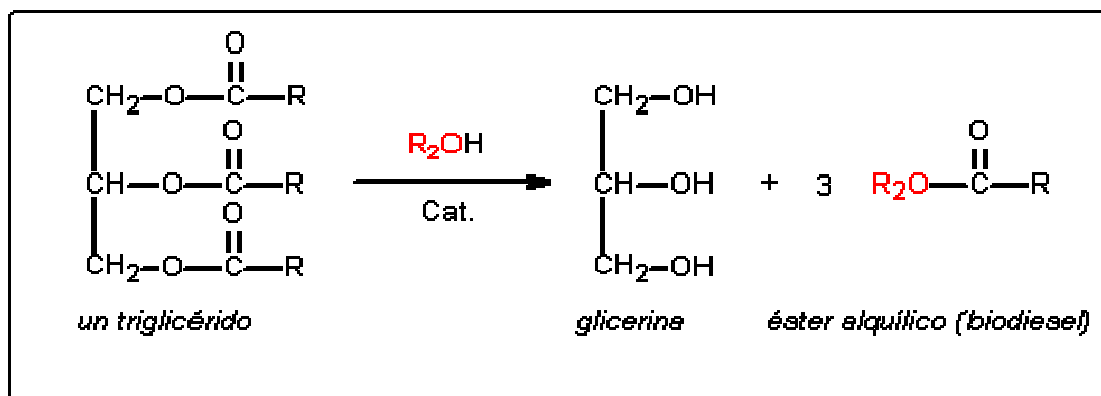
Sus aplicaciones van dirigidas a la mezcla con gasolinas o bien a la fabricación del ETBE, un aditivo oxigenado para las gasolinas sin plomo.



Estructura del Etanol ($\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$)

El **biodiesel** se produce a partir de la combinación de aceite vegetal, grasa animal o aceite usado, con un alcohol y un catalizador, mediante un proceso químico que se denomina *transesterificación* y refinado de aceites vegetales, girasol o colza, por ejemplo. El producto obtenido es empleado en motores diesel como sustituto del gasóleo, ya sea en mezclas con este o como único carburante. En el Gráfico 2 se muestra la estructura molecular de los diferentes componentes que intervienen en la obtención del biodiesel a partir de triglicéridos. En la Figura 1 se indica el proceso completo de obtención del mismo.

Gráfico 2.- Estructura de las moléculas en la síntesis del biodiesel



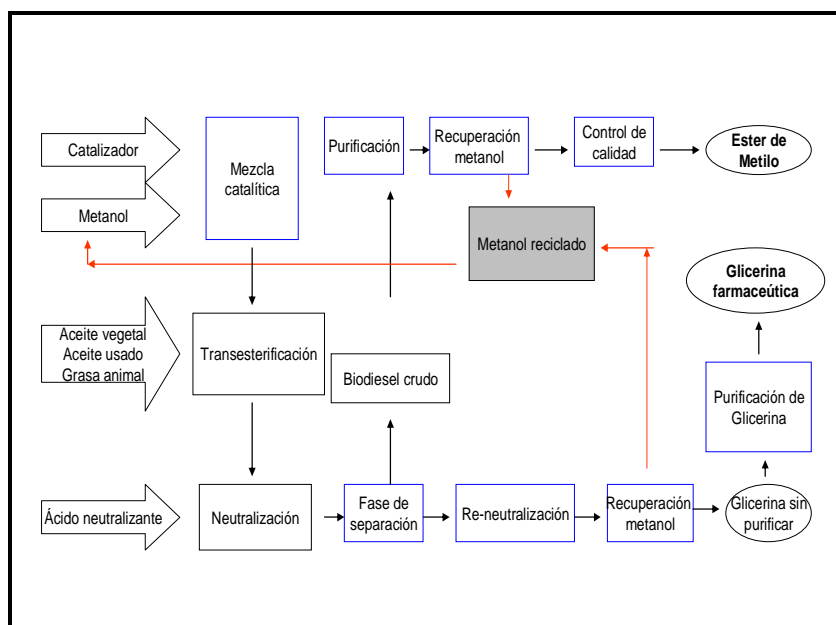
Triglicéridos (grasas o aceites) + alcohol (etanol o metanol)



Glicerina (catalizador: sosa) + biodiesel

Para la obtención del biodiesel (Figura 1), el aceite vegetal puede proceder de cualquier cultivo oleaginoso, pero los más utilizados son en Europa, la colza y en Brasil y EE.UU., la soja. En los países tropicales y subtropicales se produce a partir de aceite de palma, de coco o de jatrofa⁶⁴. En el proceso de producción se obtienen subproductos como la torta o fracción seca que, en algunos casos es altamente rica en proteínas y se utiliza como pienso, y la glicerina.

Figura 1.-Esquema del proceso de obtención del biodiesel



Debido a que los combustibles se puede obtener a partir de diferentes aceites vegetales, sus propiedades físicas, la viscosidad y la combustibilidad son más variables que en el bioetanol (FAO, 2008).

Tanto el bioetanol como el biodiesel, e independientemente de su fuente, puede utilizarse mezclados con la gasolina o con el diesel tradicional o quemarse puros en motores de encendido por compresión. En el caso del biodiesel, su contenido de energía varía entre el 85 y el 95% de la energía del

⁶⁴ La jatrofa es el nombre común de las especies del género *Jatropha* de la familia de las Euforbiaceas. Si bien el nombre común jatrofa puede designar a cualquiera de las especies de este género, habitualmente se utiliza para designar a la especie *Jatropha curcas* L., la más utilizada por su gran interés industrial y las propiedades curativas de las distintas partes de la planta.

gasóleo, pero su mayor contenido en oxígeno facilita su combustión y reduce las emisiones de GEI, partículas, CO₂ e hidrocarburos. Al poseer, como en el caso del bioetanol, una cantidad mínima de derivados de azufre, reduce también las emisiones de óxidos de azufre (SO_x) (FAO, 2008). Su rendimiento en los motores, en temperaturas frías, es inferior al del diesel convencional y además tiene efectos corrosivos sobre las piezas de caucho, sin embargo, estos inconvenientes se pueden subsanar con anticongelantes y uso de materiales alternativos. En cualquier caso, es preciso investigar más para mejorar su comportamiento en regiones más frías si se va a utilizar de forma más amplia en el mundo (Kohli *et al.*, 2009).

La reducción de las emisiones de CO₂ debido a la utilización de los biocarburantes depende del proceso de producción. Se considera que por la utilización de cada litro de combustible se emiten unos 3,2 kg de CO₂ (incluyendo las emisiones derivadas de la producción y el transporte), aunque los biocombustibles se consideran neutros en cuanto a su impacto en las emisiones de CO₂. Hay que tener en cuenta que durante el cultivo, el procesamiento y la transformación en combustible, también se emplean combustibles fósiles que emiten CO₂ por lo que sería más realista considerar que, de los 3,2 kg de CO₂ por litro emitidos por diesel convencional, se ahorran finalmente de 2-2,5 kg (Ballesteros, 2003).

En la Tabla 3 se relacionan los principales biocarburantes producidos en la actualidad, las materias primas de las que proceden y el proceso de obtención, así como aquellos que se encuentran todavía en investigación.

El biodiesel es el biocombustible con mayor demanda en el mercado. Su fuente proviene de la variedad de cultivos oleaginosos disponibles en el ámbito mundial (Kohli *et al.*, 2009).

Tabla 3.- Estado del arte en materia de biocombustibles.

MATERIA PRIMA	PROCESO DE FABRICACIÓN	BIOCARBURANTE
PRODUCIDOS EN LA ACTUALIDAD (1ª GENERACIÓN)		
AZÚCARES - Caña y remolacha	- Fermentación alcohólica	BIOETANOL
ALMIDONES - Cereales	- Sacarificación y fermentación alcohólica	BIOETANOL
LÍPIDOS - Aceites vegetales vírgenes o usados - Grasas animales	- Esterificación con metanol o etanol	BIODIESEL
EN INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO (2ª GENERACIÓN)		
CELULOSA	- Hidrólisis y fermentación	BIOETANOL
BIOMASA GENÉRICA	- Gasificación por oxidación parcial	METANOL
	- Síntesis específica	BIODIESEL
	- Pirolisis	
MICROALGAS	Fotobioreactor	BIODIESEL

Fuente: AIE (2009)

1.2.1.1. Evolución histórica de los biocombustibles

Si bien el desarrollo industrial a gran escala de los biocombustibles se puede circunscribir a los últimos 20 ó 25 años, el uso por primera vez de aceites vegetales, y en concreto el aceite de cacahuete como carburantes se remontan al año 1900; el inventor de los motores diesel, Rudolph DIESEL, lo utilizó por primera vez en su motor de ignición-compresión y predijo un uso futuro a gran escala de los biocarburantes (ECOSITE, 2004).

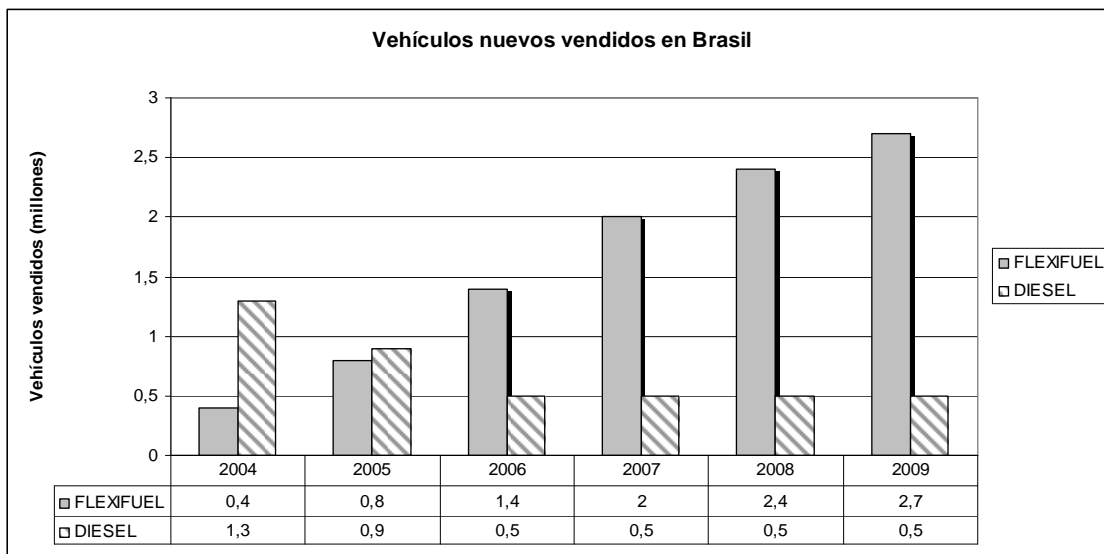
Durante la segunda guerra mundial, y ante la escasez de combustibles fósiles, hay que destacar la investigación realizada por OTTO Y VIVACQUA en el Brasil sobre uso de diesel de origen vegetal⁶⁵, pero hasta 1970 no se comenzó a desarrollar el diesel de forma significativa a raíz de la crisis energética que se dio en esos años, y al elevado coste del petróleo.

⁶⁵ <http://www.eco2site.com/informes/biodiesel-m.asp> (2004)

Brasil fue el primero que apostó en 1973 por los biocarburantes coincidiendo con la anterior crisis del petróleo, principalmente por el bioetanol, y llegado a crear un fuerte sector nacional en esta materia, competitivo y basado en la caña de azúcar a diferencia que en el resto del mundo que cuenta con fuertes subvenciones. Se calcula que en 2006 las subvenciones totales ascendieron a entre 11.000 y 12.000 M de dólares (Steenblick, 2007).

En la actualidad Brasil es el país que más firmemente apuesta por el bioetanol. Se utiliza mezclado con la gasolina en los motores flexi-fuel, especialmente preparados para este combustible. En el Gráfico 3 puede observarse la evolución de las ventas de estos vehículos en Brasil entre 2004-2009.

Gráfico 3.- Tipo de vehículo vendido en Brasil en los últimos años



Fuente: CLEANTECH MAGAZINE (2010)

En la UE el desarrollo del mercado del bioetanol comenzó prácticamente a partir del año 2000. En la Tabla 4 se observa la evolución de este combustible en la última década.

Tabla 4.- Producción anual de Bioetanol (Millones litros/año)

País	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Francia	103	101	144	293	539	950	1250
Alemania	0	25	165	431	394	581	750
España	201	254	303	402	348	346	365
Austria	0	0	0	0	15	89	180
Suecia	65	-	153	140	123	78	175
Polonia	76	48	64	120	155	200	166
Hungría	0	0	35	34	30	150	150
Bélgica	0	0	0	0	0	51	143

Fuente: EUROPEAN RENEWABLE ETHANOL (EPURE, 2010)

Los primeros ensayos técnicos con biodiesel se llevaron a cabo en Austria y Alemania en los años 80. En el año 1985, se construyó en Silberberg (Austria) la primera planta piloto productora de éster metílico de aceite de semilla de colza.

Hoy en día países como Alemania, Austria, Canadá, EE.UU., Francia, Italia, Malasia y Suecia (Tabla 5) son pioneros en la producción, ensayo y uso de biodiesel en automóviles. En general son países pertenecientes a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) junto con Brasil. En Alemania y Austria el biodiesel se usa puro para lograr un mayor beneficio ambiental.

Tabla 5.- Producción Europea de Biodiesel en la última década.

País	Capacidad Instalada tn/año (2000)	Producción tn/año (2000)	Producción tn/año (2009)
Alemania	550.000	415.000	2.539.000
Francia	290.000	286.000	1.959.000
Italia	240.000	160.000	737.000
Bélgica	110.000	86.000	416.000
Reino Unido	2.000	2.000	137.000
Austria	20.000	20.000	310.000
Suecia	11.000	6.000	233.000
España	-	-	859.000
Otros	-	-	1.856.000
Total	1.270.000	1.005.000	9.046.000

Fuente: SAGPyA⁶⁶(2010).

Hasta los años noventa del siglo pasado los biocarburantes líquidos no fueron competitivos en el mercado mundial debido a los bajos precios del petróleo. No obstante, y por las constantes fluctuaciones del crudo y sus repercusiones económicas para los países en desarrollo a corto y medio plazo, se apoyó una utilización en aumento de los mismos. Los biocarburantes han sido promovidos por la UE de forma progresiva y con un apoyo firme a partir de 2001 cuando se presentaron propuestas legislativas, que se adoptaron finalmente en 2003, debido al aumento de demanda energética (CE, 2006a).

En la actualidad la capacidad de producción de biodiesel en Europa alcanza los 22 millones de tn. En julio de 2010 existían 245 instalaciones con una ligera disminución frente a 2008 debido a la reorganización del sector. Esta fuerte base industrial es el resultado de una inversión considerable previa al

⁶⁶ SAGPyA: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación de Argentina

2007 para lograr el ambicioso objetivo de la UE de uso del 10% de biocombustibles en el transporte en 2020. A pesar de ello, hay que destacar su infrautilización y el impacto negativo de ésta en lo que supondría una vía para reducir las emisiones de GEI y de aliviar el incremento del déficit de gasóleo en el mercado europeo (EBB, 2010).

1.2.1.2. Toxicidad de los biocombustibles

A pesar de tratarse de productos biológicos, no hay que descartar la posible toxicidad de sus componentes. Se sabe que los metales pesados, pueden ser adsorbidos por las plantas según la biodisponibilidad en el suelo y los mecanismos de selectividad propios de cada especie (García-Reyes, 2009; Miralles de Imperial *et al.*, (2002).

En el proceso de elaboración del biodiesel, se utiliza metanol, sustancia toxica cuyas características se expresan en la Tabla 6 (Ver ICSC: 0057)⁶⁷

Tabla 6.- Usos y efectos tóxicos del metanol.

Características	Toxicidad
<ul style="list-style-type: none"> - Se produce por síntesis química o por destilación de la madera. - Se trata de un hidrocarburo sustituido con un solo grupo hidroxilo. <p><u>Usos</u></p> <ul style="list-style-type: none"> a) Alcohol de quemar madera (utilización doméstica). b) Como disolvente de lacas, barnices y pinturas. c) Como intermediario de síntesis en la fabricación de algunas materias plásticas y de algunos compuestos orgánicos (ésteres, formol, aldehídos). d) Como anticongelante. 	<ul style="list-style-type: none"> - Intoxicación aguda por inhalación. <p><u>Raramente:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> a) Trastornos locales: irritación de la mucosa respiratoria, de la piel y de los ojos. b) Trastornos neurológicos: cefaleas, fatiga, insomnio, vértigos y ataxia. c) Trastornos de la visión. <p>Exposición crónica al metanol</p> <p><u>Afecta:</u> - nervio óptico, sistema nervioso central, piel y mucosas.</p>

⁶⁷ ICSC: 0057. Disponible en <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/ Documentacion /FichasTécnicas/FISQ/Ficheros/0a100/nsprn0057.pdf>

En diciembre de 2007, investigadores del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) descubrieron un método menos toxico para la obtención de biodiesel y que reduce de 25 a 7 horas el proceso. Se basa en el uso de un biocatalizador que no necesita purificación posterior y es menos contaminante que el tradicional ya que sustituye el metanol por etanol a temperatura más baja (25°C) con lo que el gasto energético también se reduce (Otero, 2007).

En relación con la toxicidad de las plantas utilizadas para la fabricación de los biocarburantes, investigadores de la Estación Experimental del Zaidin (Granada) del CSIC han publicado recientemente un trabajo en el que ponen de manifiesto el aumento detectado en los últimos años de la concentración de cadmio en plantas, como consecuencia de la actividad industrial (Nawrot *et al.*, 2010). Esto generalmente resulta en un aumento de los niveles adquiridos por el hombre y los animales en la ingesta. Si bien los cereales, según este trabajo se encuentran entre las especies de menor capacidad de acumulación, será un factor importante a considerar en el futuro (Rodriguez-Serrano, 2008).

1.2.2. Nuevas fuentes de obtención: biodiesel de *Jatropha curcas* L. y otros

1.2.2.1. Biodiesel de Euforbiaceas

En los países tropicales está cobrando gran importancia el cultivo de la *Jatropha curcas* L. (en adelante *J. curcas* L. para su nombre en latín y jatropa para su nombre vulgar), planta que pertenece a la familia de las Euforbiaceas y que aunque procede de América Central, se ha extendido de manera importante por las regiones tropicales y sub-tropicales del mundo por su capacidad de crecer en un rango elevado de áreas.

Sus semillas contienen un aceite no comestible que se puede utilizar directamente como combustible o transformarlo en biodiesel. Estas semillas pueden contener hasta el 60% de ácidos grasos como aceites comestibles y aminoácidos; el porcentaje de aminoácidos esenciales, y el contenido mineral de la pasta resultante de la extracción de aceite, puede ser comparado con pastas similares utilizadas como forraje. Pero, debido a diversos principios

tóxicos en la *Jatropha curcas* L., incluyendo la presencia de curcina (lectinas); ésteres de forbol; saponinas; inhibidores de proteasas y fitatos, no resulta comestible (Heller, 1996).

El aceite, la semilla o la pasta resultante de la extracción de aceite de *Jatropha curcas* L. no puede ser utilizada en el campo de la nutrición animal o humana (Haas, 2002).

A finales de los 70, se propuso otra planta el tártago (*Euphorbia lathyris*), como materia prima alternativa para la fabricación de biocombustibles. Desde entonces, no se han producido avances significativos para la extracción de los hidrocarburos (fundamentalmente triterpenoides) que acumula la planta en grandes cantidades. En 2010, la empresa hispano argentina REPSOL⁶⁸ y otros socios de seis países europeos han puesto en marcha el proyecto *Eulafuel*⁶⁹, de tres años de duración, para producir biocarburante a partir de los hidrocarburos del tártago, que es una planta del género *Euphorbia* con unas necesidades bajas en agua [30 ó 40 milímetros (litros/m²) de agua al año y nutrientes]. Esta planta del género *Euphorbia* es nativa del sur de Europa, norte de África, sureste asiático y China occidental, y crece en climas diferentes. Estas ventajas han interesado a la hora de seleccionar la planta y poner en marcha el proyecto. Lo importante no es el aceite sino sus extractos hidrocarbonatados y se habla ya de biocombustibles de tercera generación⁷⁰. El objetivo final del proyecto es mejorar la producción de los hidrocarburos de la planta y estudiar su potencial real para la fabricación de biocombustibles (Tobalina, 2010).

El tártago tiene sólo el 10% de presencia de hidratos de carbono lo que es un inconveniente si se compara con el 40-50% de aceite que se puede extraer del fruto de la palma. Presenta una gran ventaja; la presencia de triterpenoides, que se extraen de toda la planta o sólo de los tallos, permite además no

⁶⁸ REPSOL, que firmó en 2008 el comunicado de POZNAN sobre cambio climático, también potencia la captura y almacenamiento de CO₂. La compañía captura ya CO₂ en una planta de Bilbao y lo vende para fabricación de bebidas gaseosas.

⁶⁹ «Producción de Energía de Triterpenoides en la *Euphorbia lathyris*, un potencial cultivo para la producción de biocombustibles de tercera generación.

⁷⁰ Tobalina no menciona que probablemente necesita grandes extensiones de cultivo y por tanto compite por el uso de la tierra con otros cultivos.

abandonar la producción de biocarburante cuando se deja la tierra en barbecho. Si se corta parte de la planta el resto sigue creciendo, lo que no sucede con otros cultivos como con el girasol, la colza o la soja (Tobalina, 2010).

Para estudiar el comportamiento agroindustrial de la planta, existen plantaciones piloto, de entre 0,5 y 2 ha de extensión, en Madrid, Albacete y Valencia que permiten producir de 12,5 a 50 tn de biomasa seca/año. La media de producción de la planta es de unas 25 tn de biomasa seca/ha/año, de las que se podrían obtener unos 2.000 litros de hidrocarburos con un rendimiento del 70% (es decir, 1.400 litros de biocarburante) (Tobalina, 2010).

1.2.2.2. Biodiesel de microalgas

En los últimos años, está cobrando auge la investigación con microalgas para la obtención de biodiesel. Estas podrían llegar a convertirse en la única fuente de combustible renovable que sea capaz de dar respuesta a la demanda global de combustible para el transporte.

Las microalgas son fábricas celulares que, con la energía del sol y mediante fotosíntesis, pueden convertir el CO₂ en biocombustibles potenciales, alimentos, piensos y productos biológicamente activos de gran valor (Metzger *et al.*, 2005). Producen también diferentes tipos de combustibles renovables, como CH₄ por la digestión anaerobia; biodiesel a partir del aceite producido por microalgas y bio-H producido fotobiológicamente.

Si quisiéramos sustituir por biodiesel la mitad de todo el combustible que se utiliza en EE.UU. para el transporte, sería necesario disponer de una superficie de cultivo totalmente insostenible por su tamaño, mientras que si lo hiciéramos a partir de microalgas, solamente sería necesaria del 1 al 3% de toda el área de cultivo oleaginoso destinados a combustibles (Chisty, 2007). En la Tabla 7 se compara la producción de biodiesel a partir de diferentes fuentes y la superficie precisa en cada caso.

Tabla 7.- Fuentes de obtención de biodiesel y superficie de producción.

Cultivos	Producción aceite (litros/ha)	Área necesaria (M ha)^a	% área cultivo existente en EE.UU.
- Maíz	172	1540	846
- Soja	446	594	326
- Colza	1190	223	122
- Jatrofa	1892	140	77
- Coco	2689	99	54
- Aceite de palma	5950	45	24
- Microalgas ^b	136,900	2	1.1
- Microalgas ^c	58,700	4.5	2.5

Fuente: Chisti, 2007

a. Para cubrir con biodiesel el 50% de las necesidades de combustible para transporte de los EE.UU.

b. 70% aceite (peso seco) en la biomasa.

c. 30% aceite (peso seco) en la biomasa.

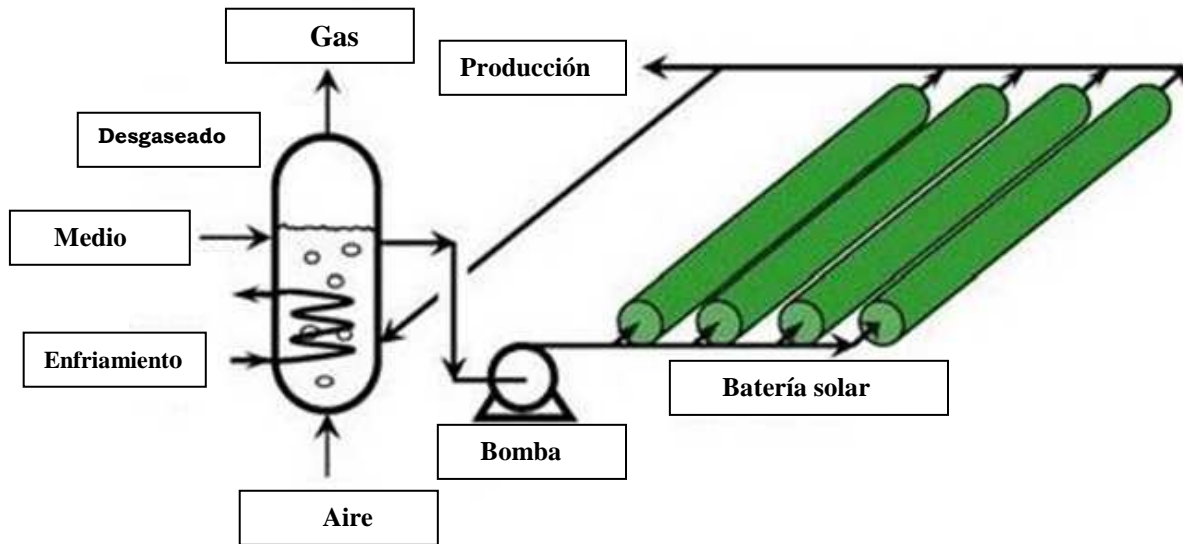
Los datos de la Tabla 7 se basan en la productividad demostrada experimentalmente en los fotobioreactores⁷¹ (Figura 2). La utilización de microalgas sería el único método capaz de desplazar realmente a los combustibles fósiles por su crecimiento rápido y su contenido extremadamente rico en aceite.

El contenido de aceite en las microalgas puede exceder el 80% del peso de la biomasa seca (Spolaore *et al.*, 2006). La productividad de aceite⁷², depende del porcentaje de crecimiento de las mismas y del contenido en aceite de la biomasa. Las más adecuadas para producir biodiesel son las que presentan mayor productividad (Chisty, 2007).

⁷¹ Tanque que permite la producción y cultivo de un solo tipo de microalgas durante periodos prolongados y en grandes cantidades.

⁷² Cantidad de aceite producido por unidad de volumen del cultivo de microalgas al día.

Figura 2.- Esquema de un fotobioreactor



Fuente: Chisty, 2007

Según las especies, las microalgas producen tipos muy diferentes de lípidos, hidrocarburos y otros complejos oleosos (Banergee *et al.*, 2002). De hecho, no todas las especies de microalgas sirven para producir biodiesel aunque es fácil obtener aceites adecuados. Su uso para obtención de biodiesel no compite con la producción de alimentos, piensos u otros productos derivados de los cultivos. No obstante este proceso es más caro, ya que el crecimiento fotosintético requiere luz, CO₂, agua y sales inorgánicas y la temperatura debe mantenerse entre 20 y 30°C. De este modo, para minimizar los gastos, la producción del biodiesel debe utilizar solamente la luz solar disponible en cada momento. Los elementos esenciales inorgánicos que constituyen las células de las microalgas y que hay que suministrar son nitrógeno, fósforo, y hierro (Chisti, 2007).

Para conseguir que el biodiesel que se obtiene del aceite de microalgas sea aceptado y competitivo, debe cumplir con los estándares existentes⁷³.

⁷³ En la UE el estándar EN 14214 recoge los requerimientos y métodos de comprobación de los ésteres de metilo de ácidos grasos (biodiesel).

El aceite de microalgas se diferencia de los aceites vegetales en que es bastante más rico en ácidos grasos poliinsaturados, con cuatro o más dobles enlaces (Beliarbi, 2000). Esto implica que son más susceptibles a la oxidación durante su almacenamiento, lo que puede reducir su aceptación (Chisti, 2007). No obstante, estos inconvenientes pueden ser subsanados mediante una hidrogenación catalítica parcial del aceite (Jang *et al.*, 2005).

Producir 100 tn de biomasa de algas fija aproximadamente unas 183 tn de CO₂. Este debe suministrarse en el proceso de forma continuada durante las horas de luz. Aunque el biodiesel obtenido de algas sería neutro en carbono, su uso no supone ninguna reducción neta de emisiones ya que el CO₂ que acumula se liberará en la combustión del biocombustibles⁷⁴ (Chisti, 2007).

⁷⁴ La combustión del biodiesel en cualquier caso nunca produce las mismas emisiones que el diesel de origen fósil, por lo que, en teoría, si el proceso de producción fija CO₂, el balance neto debería ser positivo.

1.3. SOSTENIBILIDAD DE LOS BIOCARBURANTES

1.3.1. Generalidades del concepto

Hoy en día los servicios de transporte en la mayor parte del planeta dependen fundamentalmente de los combustibles fósiles, pero debido a la incertidumbre provocada por las fluctuaciones de los precios del petróleo, a la preocupación sobre la limitación de las reservas mundiales, a la toma de conciencia sobre el cambio climático y a la necesidad de asegurar nuevas fuentes de energía, las inversiones en biocombustibles a nivel mundial se han multiplicado.

En los países industrializados están surgiendo importantes alianzas entre los fabricantes de vehículos y los productores de combustibles para caminar en la misma dirección y atender a las nuevas demandas del mercado. Un ejemplo lo tenemos en la apuesta que en el año 2006 realizó la empresa FORD MOTOR COMPANY (EE.UU.) por el bioetanol, a través de la fabricación de los vehículos. En España, este acuerdo se plasmó con la empresa ABENGOA como uno de los primeros productores mundiales de bioetanol, para fabricar vehículos flexi-fuel que están preparados para utilizar gasolina y bioetanol E-85 (ABENGOA, 2006).

Los países en desarrollo están entrando igualmente en el nuevo modelo ya que sus tasas de población son elevadas y existen constricciones económicas a la hora de poder atender las necesidades de combustibles fósiles para la población. Además, están las preocupaciones por la salud humana y el deterioro ambiental que causan las emisiones de contaminantes a la atmósfera y que evidentemente tienen mayor repercusión en el tercer mundo (Tellez, 1997).

Hasta la fecha, el parque automovilístico en países en vías de desarrollo es muy poco eficiente por la larga vida a la que se someten los vehículos y las altas tasas de emisiones que implica. Este hecho está causando unos problemas de salud en la población nada desdeñables, por lo que se están

dando movimientos en el sentido de aprovechar los recursos disponibles, sol, especies oleaginosas de interés y biomasa, entre otros, en lugar de implantar patrones que ya han resultado un fracaso en otros países (WORLD WATCH INSTITUTE, 2007).

En enero de 2010, el Director Ejecutivo de la compañía BRITISH PETROLEUM (BP), Tom HAYWARD, se preguntaba en una conferencia en la Academia Nacional de Economía de Moscú (Rusia) si, tras el progreso económico sin precedentes que se ha dado en el siglo XX, la comunidad mundial sería capaz de producir suficiente energía para mantener ese ritmo de crecimiento y en el caso de que seamos capaces, si lo podremos hacer de una forma sostenible que no atente contra nuestro planeta, considerando que uno de los mayores retos que tenemos en el siglo XXI es proporcionar energía asequible, segura y sostenible. Por ello, BP está llevando a cabo una política de diversificación de modo que ha invertido, en el año 2009, 1.500 M\$ en producción de biocarburantes, convirtiéndose en la “mejor empresa de biocarburantes del año”, distinción que concede la asociación mundial de refinadores. La estrategia de esta empresa es tan clara que en el año 2000 reinterpretaron su logo BP, como “más allá del petróleo (en inglés Beyond Petroleum)” (BP, 2010)⁷⁵.

Los países más avanzados están apostando por las energías renovables, pero a pesar de todo, todas ellas juntas, solar, eólica, maremotriz y geotérmica, suponen a fecha de hoy sólo el 1% del consumo de energía mundial. Si bien está previsto que aumente este porcentaje, las estimaciones más optimistas hablan del 5% para el 2030 (30% la UE), por lo que en esa fecha los combustibles fósiles continuarán representando la parte más importante del mix-energético⁷⁶ si no se consigue un despegue espectacular de los biocarburantes (AIE, 2009).

En cualquier caso, hay que considerar que estudios recientes indican que algunos biocombustibles pueden competir con la producción de alimentos,

⁷⁵ <http://www.bp.com/sectiongenericarticle.do?categoryId=9031997&contentId=7058420>.

⁷⁶ Mix energético es el conjunto de los diferentes tipos de energía que fija un Gobierno para la obtención de la energía primaria para el desarrollo de todas las actividades humanas e industriales de un país.

causando daños ambientales y exacerbando el cambio climático al consumir más energía de la que producen (Mitchell, 2008; Farrell, 2006).

Tanto las Directrices Generales sobre Desarrollo Sostenible que se adoptaron en el marco de la Agenda 21 de las NN.UU. en 1992 (UN, 1992), como las Disposiciones del Protocolo de Kioto, nos permiten identificar tres conceptos clave para el transporte sostenible:

1. Aporte energético seguro y económicamente viable.
2. Protección del suelo y prevención del cambio climático.
3. Desarrollo social e igualdad.

Según estos tres conceptos, la posibilidad de producir biocarburantes en terrenos marginales gracias a especies como la *J. curcas* L. resulta de interés en el mundo investigador y en la economía real. No obstante, los cultivos energéticos pueden ser una amenaza no solamente para la producción de alimentos y para los bosques, sino que pueden representar importantes repercusiones sociales. Las tierras son una parte integral de la subsistencia de los más pobres. La mayoría de las tierras marginales están clasificadas en países como la India, como Recursos Comunes de la Propiedad (RCP). Esto significa que el grupo es propietario de dichos recursos y la pertenencia a dicho grupo da derecho a acceder a los mismos. Estos recursos juegan un papel vital en la vida de los usuarios ya que les proporcionan una amplia variedad de elementos como son alimentos, combustible, forraje, madera, y material de techado. De este modo, se considera que:

1. Los RCP representan entre 12-25% de los ingresos de los hogares pobres.
2. Cuanto más pobre son dichos hogares, más representan los RCP.
3. Los RCP contribuyen a propiciar la desigualdad en el medio rural, ya que acceden mucho más los ricos que los pobres (Rajagopal, 2007).

De los 63,9 millones de Ha de tierras marginales que el Departamento de Recursos de la Tierra de la India calcula que existen en dicho país, solamente unos 17 millones serían susceptibles de ser plantados con *Jatropha curcas* L.

debido al tipo de suelo. Además, este cultivo tendría ciertas desventajas frente a otros ya que, para empezar, no es adecuado como forraje cuya escasez ha dado lugar a “la otra crisis alimentaria”. De hecho en algunos Estados, los hogares obtienen alrededor del 70% del combustible y del 55% del forraje de los RCP. En segundo lugar, este cultivo produce una cantidad insignificante de madera por árbol, por lo que resulta fundamental estudiar la idoneidad de los cultivos antes de fijar políticas que puedan tener más repercusiones sobre los más pobres (Rajagopal, 2007).

En el mundo industrializado se considera que, en la actualidad las únicas alternativas realistas a las fuentes de energía fósiles para el sector del transporte son los biocarburantes como el bioetanol, el biodiesel o nuevos combustibles potenciales como el biobutanol, producidos a partir de materias primas renovables. La principal ventaja de los biocombustibles es que se pueden mezclar con los combustibles existentes para el transporte y que son compatibles con los vehículos actuales (ASEBIO, 2008).

El aspecto más estudiado relacionado con la incidencia ambiental de su uso se refiere a las emisiones a la atmósfera como resultado de su combustión en motores. En este sentido existen factores determinantes para considerarlo positivo, sobre todo con relación al empleo de carburantes fósiles convencionales, como puede ser la práctica ausencia de azufre en la composición elemental de los biocarburantes, y por tanto en las emisiones resultado de dicha combustión. Aunque la cantidad exacta de emisiones de CO₂ depende del tipo específico de materia prima empleada, el proceso de producción de las materias primas agrícolas, los procesos de transformación y otros factores.

Dado su origen vegetal, el biodiesel es fácilmente biodegradable, lo que supone una ventaja ambiental en caso de vertidos accidentales. Además el punto de inflamación se encuentra por encima de 110°C, por lo que no es una mercancía peligrosa.

En cuanto a las emisiones producidas en la combustión de los motores, el biodiesel no contiene prácticamente azufre y evita las emisiones de SO_x

causantes de la lluvia ácida. Las emisiones de CO₂ son menores que las de los gasóleos convencionales y, además, son emisiones neutras en el ciclo de CO₂, ya que las plantas con que se fabrica el biodiesel absorben durante su crecimiento el mismo CO₂ expulsado durante el uso del vehículo (ciclo cerrado de CO₂).

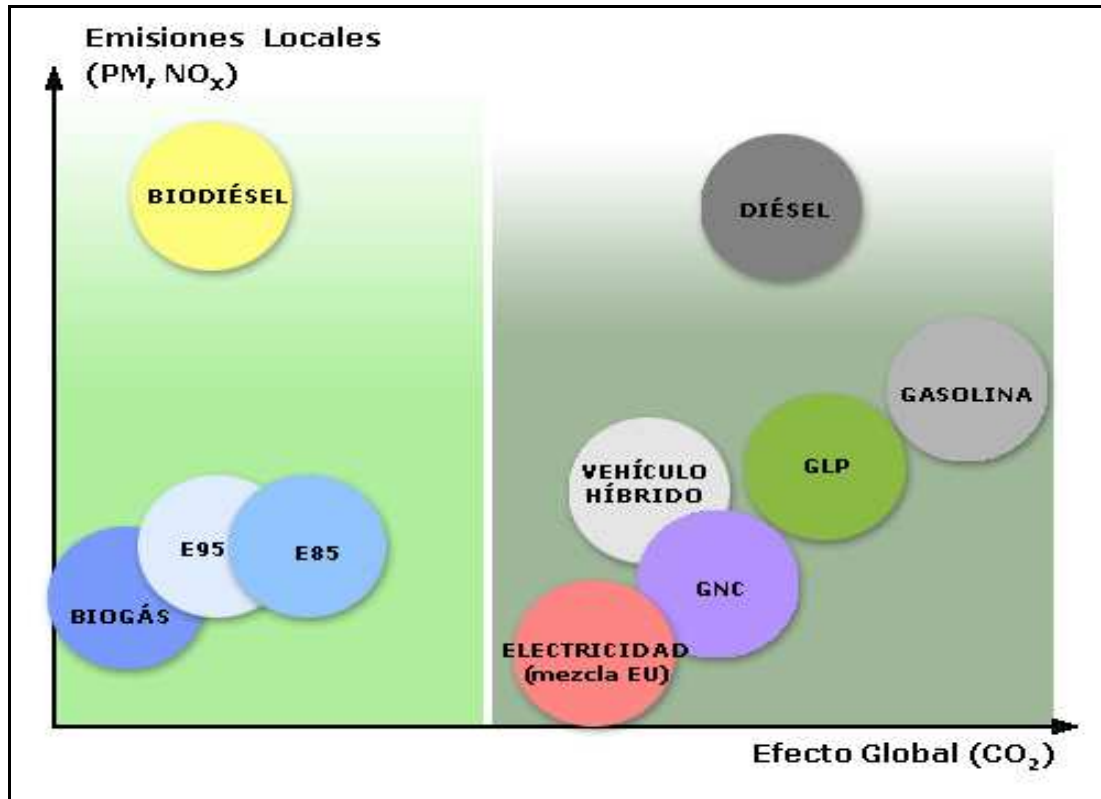
Por otro lado, el biodiesel no contiene ni benceno ni otras sustancias aromáticas cancerígenas. Los ensayos realizados por la compañía ACCIONA-ENERGÍA en vehículos de transporte durante más de un año han revelado los siguientes porcentajes de reducción de emisiones contaminantes al sustituir el gasóleo por biodiesel:

- 90% menos de emisiones de CO₂.
- 99% menos de SO₂, gas nocivo para la salud humana y la vegetación.
- 52% menos de partículas contaminantes, principales causantes del smog⁷⁷ en las ciudades y de enfermedades respiratorias.
- 63% menos de hidrocarburos no quemados, compuestos cancerígenos peligrosos para la salud.
- 22% menos de CO, gas de elevada toxicidad y causa de la contaminación ambiental en las grandes ciudades (CIEMAT, 2005).

La Figura 3 muestra la posición relativa de los distintos combustibles empleados en transporte, con respecto a las emisiones de CO₂ (eje coordenadas), y con respecto a las emisiones de partículas y NOx (eje abcisas).

⁷⁷ El *smog*, que deriva de las palabras inglesas *smoke* —'humo'— y *fog* —'niebla'—) es una forma de contaminación originada a partir de la combinación del aire con contaminantes durante un largo período de altas presiones (anticiclón), que provoca el estancamiento del aire y, por lo tanto, la permanencia de los contaminantes en las capas más bajas de la atmósfera

Figura 3.- Comparativa de emisiones de CO₂, NO_x y partículas de diferentes combustibles



Fuente: CIEMAT (2005)⁷⁸

No obstante, según se desprende de un estudio del ciclo de vida de los biocombustibles (bioetanol, biometanol, biodiesel y biogás) realizado por el Gobierno Suizo con la idea de apoyar la toma de decisiones, todos estos productos pueden obtenerse de una forma respetuosa con el medio ambiente, siempre y cuando se tenga en cuenta los materiales de partida y las tecnologías utilizadas para su producción (Zah *et al.*, 2007).

Estos investigadores afirman que la eficiencia energética y la reducción de las emisiones de GEI no deben considerarse como los únicos criterios para evaluar desde el punto de vista ambiental, los combustibles alternativos a los derivados del petróleo, ya que existen otros tantos efectos como la pérdida de

⁷⁸ Emisiones locales son todos aquellos contaminantes que repercuten en la calidad del aire.

biodiversidad, la competencia con otros usos de la tierra y la producción de los alimentos que hay que considerar, antes de subvencionar su producción por parte del Estado.

El análisis del ciclo de vida se centra en los flujos de las materias y de la energía y no comprende aspectos sociales ni económicos, ni otros aspectos ambientales, como el efecto sobre el uso del agua, ya que depende mucho de las condiciones locales, o la pérdida de biodiversidad. La información en las bases de datos de ecosistemas tropicales se considera todavía muy escasa. En cualquier caso, el hecho de considerar un biocombustible respetuoso con el medio ambiente por producir al menos el 30% menos de emisiones que el combustible fósil al que sustituye, no debe ser razón suficiente, si esto se consigue a costa de otros impactos ambientales diferentes. El estudio, a pesar de todo, no puede dar respuesta sobre las futuras consecuencias del cambio a los combustibles alternativos (Zah, 2007).

En cuanto a la distribución de los impactos en la cadena de valor, debemos considerar los siguientes aspectos:

- El método de cultivo, produce el porcentaje mayor de emisiones de GEI. Aspectos como la maquinaria, los fertilizantes y los plaguicidas son importantes por las posibles emisiones de NOx. La tala de bosques para obtener más superficie de cultivo, es un aspecto especialmente relevante en el mundo tropical (Brasil o Malasia). Es decir que es fundamental la forma en que se producen los cultivos energéticos. Las menores emisiones se producen lógicamente si el biodiesel se obtiene a partir de aceites usados y el biogas a partir del estiércol (Zah, 2007)
- La producción del combustible en sí reduce las emisiones. El biodiesel da lugar a una reducción de emisiones de GEI durante la extracción y la transesterificación, mientras que en el caso del bioetanol, la fermentación difiere bastante en emisiones según las sustancias a partir de las que se produce el combustible.
- El transporte del combustible alternativo desde donde se produce hasta el lugar de consumo. En general no representa un porcentaje alto ya que se realiza por barco o gaseoductos. Esto cuando no se produce

localmente, que es lo más deseable ya que uno de los objetivos de la utilización de biocombustibles es reducir la dependencia y por tanto las importaciones de petróleo (Zah, 2007).

- Las operaciones del vehículo. En principio estas serían neutras en CO₂ siempre y cuando se trate de biocombustibles puros ya que el gas que vayan a emitir es el que previamente ha fijado la planta durante su crecimiento.

El estudio considera otros aspectos que no parecen relevantes ya que no dependen del propio combustible como son la fabricación y mantenimiento de los vehículos y la construcción y mantenimiento de las carreteras

1.3.2. Enfoque en EE.UU

En EE.UU., la Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA) ha establecido estándares primarios, en relación con los biocombustibles, para proteger la salud pública y estándares secundarios para proteger otros aspectos del bienestar humano, tales como la reducción del uso de materiales, la prevención del daño a las cosechas y a la vegetación, o el aseguramiento de la calidad ambiental. El biodiesel es el primer y único combustible alternativo que ha sido sometido a una evaluación completa de emisión de gases y sus efectos sobre la salud. Estos resultados se han presentado a la EPA al amparo de la Sección 211(b)⁷⁹ de la Ley del Aire Limpio⁸⁰. La evaluación incluye los protocolos de ensayos de emisiones más rigurosos que se hayan establecido hasta hoy, y son requeridos por la EPA para la certificación de combustibles y sus derivados. La Agencia Federal ha revisado numerosos estudios de emisiones de biodiesel y ha presentado los resultados que se muestran en la Tabla 8.

⁷⁹ "A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions. Disponible en: www.epa.gov/otaq/models/analysis/biodsl/p02001.pdf.

⁸⁰ La Ley de Control de la Calidad del Aire de 1955 es la primera legislación federal sobre este tema. Ha sufrido numerosas modificaciones. Disponible en: http://epa.gov/oar/caa/caa_history.html#caa70.

Tabla 8.- Comparativa de emisiones de Biodiesel y Diesel Convencional

Tipo de emisión	B100	B20
Regulado		
- Total de Hidrocarburos no quemados	-67%	-20%
- CO	-48%	-12%
- Partículas	-47%	12%
- NOx	± 2%	± 2%
No-Regulado		
- Azufre	-100%	-20%
- HAP (Hidrocarburos aromáticos policíclicos)	-80%	-13%
- nHAP (nitrato HAP)	-90%	-50%
- Hidrocarbonos (ozono)	-50%	-10%

Fuente: EPA (2009)

B100: 100% biodiesel

B20: 20% biodiesel + 80% gasóleo.

1.3.3. Enfoque en la UE

En la UE, el documento de “Estrategia sobre los Biocombustibles”⁸¹ considera que desde el punto de vista energético, los biocombustibles constituyen una fuente de energía renovable que ayuda a reducir la dependencia del petróleo dando lugar a un aumento de la seguridad en el abastecimiento energético; en el aspecto socioeconómico, constituyen una alternativa para las tierras agrícolas afectadas por la Política Agrícola Común (PAC), ya que pueden ayudar a fijar población rural y a mantener los niveles de trabajo y de renta en este medio.

El balance de todos estos aspectos configura la sostenibilidad de los biocombustibles. En esta industria, cada vez más competitiva, este concepto ha llegado a convertirse en un tema esencial para asegurar el acceso a los mercados mundiales. Antes de la determinación de los criterios de sostenibilidad que la UE ha adoptado a través de la Directiva 2009/28/CE⁸², relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, la

⁸¹ Estrategia de la Unión Europea para los biocarburantes. [COM (2006) 34 final – DO. C 67 de 18.3.2006, pp. 1-31.

⁸² Directiva 2009/28/CE de 23 de abril, sobre la promoción del uso de la energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE. DO L 140 de 5.06.2009, pp.16-62.

Asociación Europea de Bioindustrias (EUROPABIO) presentó sus consideraciones sobre la necesidad de un proyecto fuerte de certificación europea de biocombustibles. A su juicio, debe incluir un paquete de criterios con credibilidad y ciertas medidas de control transparentes y aplicables. Esta Asociación sostiene que los criterios ambientales y sociales son igual de importantes y ambas partes deben desarrollar unos criterios con perspectiva a largo plazo, basándose en las mejores prácticas y tecnologías disponibles. EUROPABIO no respalda el uso de ninguna materia vegetal para la producción de biocombustibles e insiste en que el empleo de biomasa como carburante no debería poner en peligro la capacidad de los países europeos y países terceros para asegurar el suministro de alimentos a su población, ni tampoco debería impedir lograr prioridades ambientales como la protección de los bosques, prevenir la degradación del suelo o preservar la buena situación ecológica de las aguas. Los criterios de sostenibilidad deberán ser tecnológicamente neutrales, transparentes y basados en evidencias científicas y definiciones claras (ASEBIO, 2008).

Los criterios de sostenibilidad ambiental para los biocarburantes y los biolíquidos que establece la UE en la Directiva 2009/28/CE⁸³, son:

- *La reducción de emisiones de GEI derivada del uso de biocarburantes, será del 35%. Para el 2017, deberá ser del 50% y para el 2018, como mínimo del 60% en aquellas instalaciones que hayan comenzado su actividad a partir del 1 de enero de 2017.*
- *Los biocarburantes no podrán producirse a partir de materias primas obtenidas en tierras de alto valor ecológico como bosques primarios, zonas especialmente designadas, prados y pastizales de alta diversidad.*
- *Los biocarburantes no podrán producirse a partir de materias primas obtenidas en tierras con elevadas reservas de carbono como humedales, zonas arboladas continuas y otras ni en turberas.*

En el marco de la comunicación⁸⁴: “Energía Renovable: progresando hacia el objetivo 2020” presentada por la CE el 31 de enero de 2011, se incluía un

⁸³ DO L 140 de 5.06.2009, pp. 16-62.

documento de acompañamiento que contiene un métodos de verificación de los criterios de sostenibilidad mediante balance de masas⁸⁵. Este enfoque de sostenibilidad exigido por la CE, empezó a ser operativo el 5 de diciembre de 2010, fecha límite de transposición de la Directiva 2009/28/CE⁸⁶

En general la cadena de producción de los biocombustibles y biolíquidos tiene muchas conexiones desde el campo a la distribución. Normalmente la materia prima vegetal se transforma en un producto intermedio y posteriormente otros operadores lo transforman en el producto final. Para conectar los distintos pasos se utiliza la “Cadena de custodia”⁸⁷. La Directiva del 2009 establece que esta cadena se apoyará en el esquema de “balance de masa” que requiere una conexión física entre todas las etapas en contraposición al sistema de “reclamación certificada”⁸⁸ en el cual después de la producción de los cultivos, la información sobre su sostenibilidad y la materia prima van por separado y además se exige la segregación de las materias. La CE llevó a cabo una evaluación de ambos sistemas en 2008 y llegó a la conclusión de que el primero presenta mayor efectividad, aunque evidentemente requiere que los agricultores y la industria adapten sus prácticas al mismo.

El balance de masa permite mezclar materia prima sostenible con otra que no lo sea, siempre y cuando la combinación de todas las partidas tomadas de la mezcla tenga el mismo tamaño que cada uno de los grupos clasificados como sostenibles.

Si bien se ha realizado un esfuerzo importante por todos los agentes implicados para la puesta en marcha del sistema (CE elaboró Directrices para

⁸⁴ Comunicación de la CE "Energía renovable: Progresando hacia el objetivo 2020", de 31 de enero de 2011. COM (2011) 31 final de 31.1.2011. No publicada en el DO.

⁸⁵ “Informe sobre el funcionamiento del método de verificación mediante balance de masas para el esquema de sostenibilidad de biocombustibles y biolíquidos en virtud del artículo 18 (2) de la Directiva 2009/28/CE” sobre energías renovables. (Commission staff working document). Report on the operation of the mass balance verification method for the biofuels and bioliquids sustainability scheme in accordance with Article 18(2) of Directive 2009/28/EC).

⁸⁶ DO. L 140 de 5.06.2009, pp.16-62.

⁸⁷ Cadena de custodia consiste en el seguimiento que una empresa u organización transformadora de materias primas para la obtención de otros productos se compromete a hacer al objeto de garantizar que al menos un determinado porcentaje de aquellas materias, denominadas *materias certificadas*, cumplen unas ciertas características de calidad, generalmente medioambientales.

⁸⁸ Reclamación certificada: exigencia de un derecho solicitando acuse de recibo.

su aplicación), no ha transcurrido tiempo suficiente para evaluar su operatividad. La evaluación deberá demostrar que se mantiene la integridad y efectividad del sistema de verificación es decir para medir las emisiones de GEI y su posible impacto sobre la biodiversidad, mientras que se evita el imponer una carga administrativa excesiva a la industria.

1.3.4. Otros enfoques internacionales

Diversas instituciones internacionales también están trabajando en esta materia. El Banco Interamericano de Desarrollo (BID) presentó en el 2008 una herramienta interactiva “scorecard”^{89,90} (Constance, 2009) de sostenibilidad de los biocombustibles, como parte de un esfuerzo integral para garantizar que las inversiones en biocombustibles produzcan beneficios socio-económicos y ambientales. Tras un proceso de consultas regionales, en 2009 se han incorporado categorías que permiten analizar más rigurosamente las dimensiones sociales de los biocombustibles. De este modo, antes de invertir en biocombustibles, los Gobiernos y las empresas deben conocer los posibles impactos que tendría una inversión determinada en la seguridad alimentaria⁹¹ y en los ecosistemas locales. El “scorecard” se plantea como un instrumento clave en los esfuerzos que desarrolla el BID para promover únicamente aquellos proyectos de biocombustibles que sean verdaderamente sostenibles. Aborda, entre otros, 29 aspectos esenciales del impacto social y ambiental de un proyecto, como la seguridad alimentaria, las emisiones de GEI, el manejo del agua, el cambio en el uso de la tierra, la biodiversidad o la reducción de la pobreza, temas vinculados a los pueblos indígenas, a los acuerdos con los

⁸⁹ BID anuncia nueva versión del Scorecard de Sostenibilidad de los Biocombustibles. Disponible en: <http://www.iadb.org/es/noticias/comunicados-de-prensa/2009-09-11/bid-anuncia-nueva-version-del-scorecard-de-sostenibilidad-de-los-biocombustibles>, 5617.html.

⁹⁰ Scorecard: tarjeta de valoración.

⁹¹ Seguridad alimentaria: La FAO utiliza este término para referirse a la seguridad y suficiencia de abastecimiento y acceso a una cantidad suficiente de alimento, y el término *Inocuidad alimentaria* para referirse al alimento exento de factores de peligro susceptibles de causar enfermedad alimentaria. Por el contrario la UE que ha establecido una Política alimentaria que concede la máxima prioridad a la protección y salud de los consumidores, entiende el término “Seguridad alimentaria” de forma similar al término inglés *Food safety*, en su acepción de inocuidad de los alimentos, definida como aquella cualidad que implica que los alimentos no harán daño al consumidor (Anadón, A. y Martínez-Larrañaga, M.R., 2011).

La diferente interpretación del término pone en evidencia las distintas preocupaciones que existen en el mundo desarrollado y en desarrollo. En esta memoria de Tesis Doctoral se entenderá el término Seguridad alimentaria en el sentido expresado por la FAO.

cultivadores locales y a los impactos producidos en la seguridad alimentaria, entre otros. Además ha sido diseñado para ser usado en todas las etapas del ciclo de vida de un proyecto. Puede ser útil en el diseño del proyecto, la etapa de exploración, el análisis inicial, y en la aprobación de la inversión (Constance, 2009).

El “scorecard” no otorga una puntuación final a un proyecto particular, sino que genera un “mapa de colores” para que el usuario pueda apreciar el rendimiento de un proyecto en diferentes áreas, el identificar los riesgos y beneficios, y el señalar áreas para su mejora. Cinco colores, que van desde el verde al rojo, son usados para designar una valoración que oscila de “excelente” a “insatisfactorio”. El BID participa en la Iniciativa Global sobre la Bioenergía ⁹² y en la Mesa Redonda sobre Biocombustibles Sostenibles ⁹³, dos iniciativas mundiales para elaborar criterios de sostenibilidad para los biocombustibles, y también colabora con la FAO (Constance, 2009).

A pesar de estas iniciativas, hasta la fecha no se han realizado estudios completos que permitan evaluar el impacto global del uso de los biocombustibles actuales en las emisiones de efecto invernadero. Dos estudios recientes e independientes de las Universidades de Princeton y Minnesota de los EE.UU. aparecidos en la Revista Science en 2009 (Tilman *et al.*, 2009) han examinado la huella global de la producción y uso de los principales biocombustibles actuales (bioetanol y biodiesel), en las emisiones de GEI. Ambos estudios han tenido en cuenta por primera vez el efecto que tienen, en el balance neto de emisiones de CO₂, la transformación de ecosistemas naturales en tierras de cultivo necesarias para cubrir la creciente demanda de biocombustibles. De acuerdo a los resultados del estudio, la mayoría de los biocombustibles actuales emiten más cantidad de GEI que los combustibles fósiles a los que sustituyen, ya que, directa o indirectamente, están provocando la transformación de ecosistemas naturales en tierras para cultivar. La transformación de los ecosistemas naturales en tierras agrícolas conlleva una emisión en forma de CO₂ del carbono almacenado en las plantas y suelos originales que es mucho mayor que el ahorro en CO₂ provocado por el

⁹² Global Bioenergy Partnership.

⁹³ Round table on Sustainable Biofuels.

uso de los biocombustibles producidos en ellas. Tilman y colaboradores (2009) afirman que la conversión de los ecosistemas naturales (terrenos boscosos, praderas, humedales y sabanas) en EE.UU., Indonesia o Brasil en terrenos para el cultivo de maíz, caña de azúcar, palma o soja emiten entre 17 y 420 veces más óxidos de carbono (CO_x) que el ahorro anual en emisiones de CO₂ por la sustitución de los combustibles fósiles por los biocombustibles generados.

Por ello, concluyen que es preciso plantear evaluaciones globales del impacto de los biocombustibles actuales incluyendo las implicaciones asociadas a la conversión de hábitats naturales en tierras de cultivo, que pueden acelerar los efectos del cambio climático. Los biocombustibles pueden ser útiles como alternativa a los combustibles fósiles siempre y cuando su producción no requiera la transformación de hábitats naturales en tierras agrícolas. En ese sentido se deben potenciar las tecnologías capaces de producir biocombustibles de forma eficiente a partir de biomasa que no requiera la creación de nuevas tierras cultivables: residuos agrícolas, residuos de praderas y bosques o cultivos energéticos no alimentarios producidos en terrenos agrícolas abandonados (Tilman *et al.*, 2009).

Un artículo publicado en el diario inglés The Guardian (Monbiot, 2008), afirma que si los biocombustibles no pueden ser cultivados en tierras vírgenes, estos deben confinarse a la superficie agrícola existente, lo que significa que cada vez que llenamos el depósito quitamos comida de las bocas de la gente. Esto además aumenta el precio de los alimentos, lo que anima a los agricultores a extender los cultivos hacia otras tierras, bosques primarios, pastos antiguos, humedales y todo lo demás. Nos podemos felicitar por mantenernos moralmente puros, pero los impactos son los mismos. No hay salida para esto: en un planeta finito con un abastecimiento de alimentos muy ajustado, o se entra en competencia con la producción de alimentos en los países más pobres o se utilizan nuevas tierras.

1.4. ÉTICA AMBIENTAL EN RELACIÓN CON LOS BIOCOMBUSTIBLES

Si bien hemos visto que para determinar la sostenibilidad de los combustibles alternativos, es preciso estudiar cuidadosamente su ciclo de vida, hay determinados aspectos, éticos y socio-económicos fundamentalmente que se escapan de dicho análisis, pero que de cualquier modo no deberíamos obviar.

La ética⁹⁴ es una disciplina que no ha entrado a analizar cuestiones ambientales hasta el siglo XX, con la necesidad de dar respuesta a los desafíos que surgían por la actuación antropocéntrica del hombre sobre su entorno. El desarrollo científico-tecnológico moderno ha mostrado la enorme vulnerabilidad de la naturaleza. Entre los trabajos pioneros que recogieron esta sensibilidad se encuentra “Silent Spring” de Rachel CARSON que apareció en 1963 y recogía una serie de artículos aparecidos en el *New Yorker Magazine* de los EE.UU. que detallaban determinadas actuaciones del hombre afectando peligrosamente el medio ambiente (Villaroel, 2007).

Desde entonces han surgido numerosos trabajos y programas teóricos que han manifestado el interés de pensar la relación entre lo humano y el entorno ambiental, dando lugar a la “ética ambiental”. No obstante algunas autores como los *humanistas* consideran que no es preciso definir una ética específicamente centrada en los problemas ambientales. No debería ser preciso decir al hombre qué debe hacer con las entidades naturales no humanas, ya que sería parte de nuestra responsabilidad con nuestros semejantes (Norton, 1984).

Villaroel (2007), en su ensayo referido al entorno⁹⁵ recoge las diferentes teorías que han estudiado la relación del hombre con el medio natural: “Hipótesis de la convergencia” de NORTON (Norton, 1984); “Igualitarismo biosférico” de DEVALLC (Devallc, 1985); “Ecofeminismo” de WARREN (Warren, 2000); “Extensionismo” de SINGER (Singer, 1996) y el “biocentrismo” de TAYLOR y ROLSTON (Callicot, 1989). Todas ellas coinciden en que no se debe entender

⁹⁴ Ética: Doctrina filosófica o teológica de los valores, las normas y las actitudes morales.

⁹⁵ Ensayo de hermenéutica referida al entorno. Expone una apología filosófica del medioambiente que se basa en el estudio del papel del hombre como protagonista de la naturaleza y la reconsideración que debe hacerse del mismo a la vista de la crisis ambiental actual.

que el medio natural exista exclusivamente para el servicio del hombre, al contrario de lo que transmite el “individualismo egoísta” que ha causado la crisis medioambiental.

En cualquier caso, puesto que el tema que nos ocupa, los biocarburantes, pueden tener importantes repercusiones para el ambiente y para las personas, es preciso tomar decisiones basadas en la consideración de las posibles repercusiones, es decir desde una perspectiva ética. Ya hemos comentado en este capítulo de la Tesis que los Gobiernos no deberían adoptar políticas de expansión de los cultivos bioenergéticos sin considerar, especialmente en los países en desarrollo, los efectos que dichas políticas pueden tener sobre los más pobres. Es preciso que los poderes públicos supervisen los efectos de sus políticas sobre el medio ambiente y sobre la sociedad, es decir siguiendo el *principio de responsabilidad*⁹⁶ que es la base de la ética ambiental (Osorio, 2000).

El principio de responsabilidad universal, se recoge en el quinto párrafo del Preámbulo de la Carta de la Tierra (2000)⁹⁷. Es de gran importancia para hacer frente a los nuevos retos tecnológicos del siglo XXI. Este principio es el complemento necesario al reconocimiento que se hace en la Declaración Universal de los Derechos Humanos de que cada persona como ciudadano del mundo, merece igual respeto y dignidad por parte de la comunidad universal de naciones (Brenes, 2005).

La Carta de la Tierra (2000) manifiesta como imperativo el principio de “responsabilidad diferenciada”: “Afirmar, que a mayor libertad, conocimiento y poder, se presenta una correspondiente responsabilidad por promover el bien común”. ¿Cómo puede haber responsabilidad común pero diferenciada?. A primera vista, puede parecer contradictorio.

⁹⁶ Principio de Responsabilidad: tiene dos implicaciones claves: (1) que cada persona es igualmente responsable ante la comunidad de la Tierra como un todo, y (2) que el alcance de nuestra responsabilidad ética influye sobre nuestra relación con el Universo como un todo.

⁹⁷ La Carta de la Tierra es una declaración internacional de principios, propuestas y aspiraciones para una sociedad mundial sostenible, solidaria, justa y pacífica en el siglo XXI, promovida por las Naciones Unidas en el año 2000.

Estos dos significados son complementarios y de igual importancia dentro del fundamento de la Carta de la Tierra, para que tenga uso práctico en un mundo que se enfrenta a la actual “situación global” y a “los retos venideros”. No obstante, tienen diversas implicaciones, especialmente desde la perspectiva política⁹⁸ y educativa.

El caso de la responsabilidad diferenciada podría descansar en el “Principio de justicia intergeneracional”. Podría razonarse que aquellas personas y grupos que hayan acumulado más poder a través de la historia, mediante la explotación de los recursos de la tierra y del fruto de la mano de obra humana, tienen una deuda proporcional con las generaciones presentes y futuras en el contexto de nuestro bien común.

Un planteamiento alternativo sería el egoísmo bien informado, como se insinúa en el Preámbulo a la Carta de la Tierra (2000): *“La elección es nuestra: formar una sociedad global para cuidar la Tierra y cuidarnos unos a otros o arriesgarnos a la destrucción de nosotros mismos y de la diversidad de la vida”*. Se ha comprobado que la motivación fundamentada en la seguridad resulta ser eficaz al cambiar los diversos dominios del comportamiento humano. El problema fundamental con este enfoque, es que el cambio tiende a ser el mínimo requerido para superar los riesgos percibidos y con frecuencia, ya es muy tarde. El desarrollo de las virtudes humanas y de las motivaciones altruistas es una tercera forma de asumir voluntariamente la responsabilidad diferenciada. Esta base lógica también está contenida en el Preámbulo a la Carta de la Tierra (2000): *“Se necesitan cambios fundamentales en nuestros valores, instituciones y formas de vida. Debemos darnos cuenta de que, una vez satisfechas las necesidades básicas, el desarrollo humano se refiere primordialmente a ser más, no a tener más”* (Brenes, 2005).

⁹⁸ La dimensión política de la responsabilidad diferenciada plantea lo que pareciera ser el problema intratable de la transmutación del “poder”

1.5. PRINCIPIOS DE RESPONSABILIDAD AMBIENTAL INTERNACIONAL EN RELACION AL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMATICO

A la firma del CMNUCC, en 1992, 4 pequeños Estados insulares, Fidji, Kiribati, Nauru y Tuvalu, presentaron la siguiente Declaración⁹⁹: *“(...) la firma del Convenio no constituye en modo alguno una renuncia a cualquier derecho bajo la Ley Internacional en relación con la responsabilidad de los Estados por los efectos adversos del cambio climático y que las provisiones del Convenio no pueden interpretarse como derogaciones a los principios de la Ley General Internacional”*. Estos 4 Estados, especialmente Tuvalu, se encuentran con toda probabilidad entre las primeras víctimas del cambio climático ya que una pequeña elevación del nivel del mar podría dar lugar a la migración de su población al anegar amplias zonas de su territorio.

La posibilidad de que tanto estos pequeños Estados insulares- como cualquier otro- pudiera entablar demandas para reclamar responsabilidades por este asunto supera ya el ámbito académico desde que ya existen ejemplos de demandas por daños medioambientales en todo el mundo¹⁰⁰ (Tol y Verheyen, 2004). Tanto el Preámbulo del Convenio como el artículo 10 del Protocolo de Kioto establecen que las Partes firmantes deben tener presentes *“(...) sus responsabilidades comunes pero diferenciadas y las prioridades, objetivos y circunstancias concretos de su desarrollo nacional y regional*. Con ello hace caer la carga más pesada de la lucha contra el cambio climático sobre los países industrializados "del Anexo I", por ser éstos la fuente principal de la mayor parte de las emisiones de GEI. El Convenio pide a estos países que hagan todo lo posible por reducir las emisiones y que aporten la mayor parte de los recursos económicos necesarios para financiar los esfuerzos en este sentido de los países en desarrollo. Las naciones avanzadas y las 12 "economías en transición" (países de Europa central y oriental, incluidos los

⁹⁹ Disponible en: http://unfccc.int/files/essential_background/convention/status_of_ratification/application/pdf/unfccc_conv_rat.pdf

¹⁰⁰ Amigos de la Tierra Int.. contra. Watson 35 Env'tl. L. Rep. 20, 179 (N.D. Cal. 2005); Centro para la Diversidad biológica contra Spencer Abraham, 218 F. Supp. 2d 1143 (N.D. Cal. 2002); Consejo para el medio Ambiente y la Protección de la naturaleza de Alemania.. (BUND) y Sección Alemana de la ONG Amigos de la Tierra contra la República Federal de Alemania representada por su Ministro de Economía y Trabajo (BMWA).

pertenecieron a la antigua Unión Soviética), debían reducir para el año 2000 sus emisiones al nivel de 1990.

Aunque la mayoría de las demandas presentadas se dirigen contra particulares (responsabilidad), cada vez se presentan más reclamaciones por la responsabilidad de los propios Estados (Díaz Peralta y Anadón, 2008). Todos estos casos ponen sobre la mesa una serie de cuestiones importantes: ¿Se pueden pedir responsabilidades a determinados Gobiernos o instituciones públicas por el cambio climático, cuando existen cientos de entidades privadas que también han contribuido? ¿Cómo se puede, desde un régimen de responsabilidad legal, abordar las incertidumbres que existen sobre los causantes de las emisiones, su relación con el cambio climático y los efectos dañinos? ¿Supone el régimen de responsabilidad un medio efectivo no solo para compensar a las víctimas sino para influir en el comportamiento de otros posibles emisores? Aunque estos casos puedan surgir dentro del marco judicial¹⁰¹, la relación causa-efecto es relevante también en el ámbito administrativo a la hora de sancionar estas conductas, desde el punto de vista del principio de “quien contamina paga”¹⁰².

Probablemente las respuestas difieran según se trate y aplique la ley nacional o internacional, pero parece importante encontrar un enfoque integrado de esta cuestión, identificando los elementos comunes de los dos sistemas. Ya no entra en la discusión científica la propia existencia, las causas y los efectos del cambio climático ya que se da por supuesto que los daños al medio ambiente

¹⁰¹ Como las demandas presentadas por Comunidades rurales en Nigeria contra compañías petroleras y contra el gobierno. Disponible en: <http://www.foreignaffairs.com/articles/56830/gail-m-gerhart/oil-in-nigeria-conflict-and-litigation-between-oil-companies>.

¹⁰² En la UE, si bien el principio de la Declaración de Río “quien contamina, paga” se encuentra recogido en el Tratado Constitutivo de la CE, no se incorpora un análisis del mismo para su aplicación en la Unión hasta el año 2000 y concretamente en el Libro Blanco sobre la Responsabilidad Ambiental. Tras este análisis, se instaura un régimen comunitario sobre esta materia en la Directiva 2004/35/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de abril de 2004, sobre responsabilidad medioambiental en relación con la prevención y reparación de daños medioambientales, (DO L 143 de 30.4.2004, pp. 56-75). Esta Directiva contempla tres ámbitos claramente identificados sobre los que se pueden considerar posibles daños directos o indirectos causados, que son: las aguas, los suelos y las especies y hábitats protegidos. La Directiva está modificada por la Directiva 2006/21/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de marzo de 2006, sobre la gestión de los residuos de industrias extractivas (DO L 102 de 11.4.2006, pp.15-33).

surgen de las actividades humanas llevadas a cabo por individuos o grupos, es decir que obedecen a causas antropogénicas.

Un inconveniente añadido para construir un régimen de responsabilidad en materia de cambio climático es el hecho de que las emisiones de GEI tienen efecto acumulativo y por tanto no se puede considerar que las causas provengan de las emisiones en el presente solamente sino también las que se produjeron en el pasado. Hay que establecer el nivel de emisiones históricas, lo cuál no es fácil por la inexistencia en general de registros. Desde que el IPCC presentó su Primer Informe en 1990, ningún Estado tiene excusa para asegurar que no conocía la relación causa-efecto (Faure y Nollkaemper, 2007).

En relación con las emisiones del pasado, lo más importante es la contribución proporcional de los países industrializados¹⁰³ al calentamiento global ya que con mucha probabilidad será significativamente mayor que el de los países en desarrollo, incluso aunque las emisiones de países como China y la India sean mucho más importantes de hecho hoy en día.

La mayoría de los expertos coinciden en que, para plantear una demanda de este tipo, hay que superar varios obstáculos. En primer lugar, una Parte debe demostrar su capacidad legal para litigar. En segundo lugar, el acusado debe ser considerado culpable de manera que sea posible la compensación por el daño causado y, en tercer lugar la consideración más importante es que exista *causa demostrable* (Kilinski, 2009).

Debido a la naturaleza difusa de los daños, es importante también considerar la legitimación para litigar. No hay que olvidar que en cualquier caso, toda la humanidad contribuye a las emisiones de GEI y al cambio climático con sus actividades diarias. Así, Comunidades que han contribuido escasamente al cambio climático se ven muy afectadas. Se puede establecer una clara relación causa-efecto en los siguientes casos:

¹⁰³ Así se reconoce en el propio Preámbulo del Convenio Marco de Cambio Climático.

- Elevación del nivel del mar

Este es uno de los aspectos mejor documentados y ampliamente aceptados, por sus costosas repercusiones. De acuerdo con el IPCC, el nivel del mar creció a una media de 1,8 mm/año hasta 1993 y desde entonces el ritmo de crecimiento es de 3,1 mm/año, debido al deshielo de los glaciares y casquetes polares.

- Pérdida de hábitats en las regiones polares

El Ártico es extremadamente sensible a los efectos del cambio climático. El IPCC en su último informe¹⁰⁴ ha señalado que la cubierta de hielo de los polos disminuye y aumenta el permafrost¹⁰⁵. Se considera que desaparecerá completamente para finales del siglo XXI. Por este motivo las Comunidades indígenas del Ártico “Inuits” sufrirán grandes cambios económicos y culturales, entre los que se encuentra la necesidad de buscar otro emplazamiento. Estas comunidades cuya subsistencia depende claramente de las condiciones climáticas de la región serían unos potenciales demandantes (Kilinski, 2009).

En cuanto a los potenciales responsables, si bien lógicamente serían los principales emisores, no es fácil identificar responsabilidades porque habría que asegurar que el demandado es suficientemente culpable. También sería diferente si se pretende demandar a un Estado, en la Corte Internacional de Justicia, o a una empresa o industria determinada.

Dentro de los modelos básicos de demandas podemos encontrar:

1. Estado contra Estado. Este escenario en que un país, víctima del cambio climático, demande a otro Estado o a particulares en la Corte Internacional, es bastante improbable. De hecho, muy pocos países han firmado el sistema vinculante de solución de controversias previsto en el Art. 14 del CMNUCC. Sin embargo, sería más fácil una reclamación conjunta de varios Estados, por ejemplo los pequeños Estados insulares

¹⁰⁴ http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf.

¹⁰⁵ Capa de hielo permanentemente congelado en los niveles superficiales del suelo de las regiones muy frías o periglaciares, como es la tundra.

que ya se unieron en el momento de la firma para emitir su Declaración.

La reclamación se basaría en una violación de una obligación internacional, que implicaría una responsabilidad del Estado que no hace sus deberes. Los Principios de Responsabilidad que se aplicarían serían los de la Ley internacional, más que los de las Leyes Nacionales, aunque estos últimos servirían de base.¹⁰⁶

2. Particulares contra Estados. Este segundo supuesto incluye a personas que pueden ser potenciales víctimas del cambio climático. Por ejemplo, el Estado de Alaska podría pedir una compensación al Gobierno Federal de los EE.UU. por los daños causados por el calentamiento global en su territorio. Estos casos podrían tratarse en una Corte Internacional si se enfocan desde el punto de vista de los derechos humanos, pero no serían un precedente de un asunto transfronterizo.
3. Reclamaciones entre particulares. Normalmente se trataría de reivindicaciones dentro de un mismo Estado por lo que no afectaría a la justicia internacional¹⁰⁷.
4. Combinación de un régimen internacional y otro doméstico. Las obligaciones internacionales de proteger el medio ambiente se aplican entre Estados y por tanto, un particular nunca podría demandar a un Estado por estos incumplimientos. No obstante no hay que olvidar el poder de la Corte Internacional en cuestiones domésticas. En este caso lo normal sería proporcionar una compensación por la violación de la norma internacional en disputas transfronterizas a través de la legislación nacional (Díaz Peralta y Anadón, 2008).

¹⁰⁶ En este sentido, se considera que los grandes emisores internacionales de GEI tienen una enorme responsabilidad mundial por el calentamiento global. EE.UU. que representan casi el 20% de las emisiones mundiales no ha ratificado el Protocolo de Kioto, se resiste a participar de forma efectiva en la implementación de soluciones y mantiene una de las políticas de cambio climático menos progresista del mundo.

¹⁰⁷ En el caso de la UE, la Directiva 2001/44/CE permite a un ciudadano de un Estado miembro presentar una demanda en otro Estado de la Unión, cuando se trata de agravios o delitos. Puede ocurrir que lleguen a considerarse delito las emisiones de GEI.

1.6. OBJETIVOS DEL TRABAJO

El cambio climático y las modificaciones socio-económicas que implica para los Estados la reducción de las emisiones de GEI es la causa última de la necesidad de sustituir los combustibles fósiles por otros más sostenibles desde el punto de vista ambiental. Por este motivo la introducción de este trabajo de Tesis doctoral contempla el análisis del CMNUCC y del Protocolo de Kioto, y más concretamente de los principales mecanismos que se han establecido para articular las medidas adoptadas por los Gobiernos en este ámbito.

Asimismo se desarrollan los distintos modelos energéticos actuales y se revisa la situación mundial de los biocombustibles de 1ª generación, los métodos de obtención, su importancia socio-económica y la sostenibilidad de su utilización, a través de los dos enfoques más importantes en el ámbito global, a saber, el adoptado por la UE y el de los EE.UU.

Las posibles implicaciones socio-económicas y ambientales de los biocombustibles pueden llegar a ser tan importantes que se contemplan en la introducción también los enfoques éticos aplicables a esta materia así como los principios de responsabilidad ambiental que los Gobiernos deben considerar antes de apostar por la producción a gran escala de determinados biocombustibles.

En función de todo lo expuesto anteriormente, se pone de manifiesto que si bien existen muchas iniciativas y grandes proyectos, en países en desarrollo, para obtener biodiesel a partir de la especie vegetal tóxica *Jatropha curcas* L., no se ha realizado un análisis global de las ventajas e inconvenientes de su utilización a gran escala como cultivo energético, por lo que la realización de esta Tesis Doctoral persigue los siguientes objetivos:

1. Analizar la situación actual de la especie vegetal tóxica, *Jatropha curcas* L. que posee una amplia distribución mundial en climas tropicales y sub-tropicales y estudiar su posible utilización en los países en desarrollo como fuente de energía para el transporte ya que de su semilla se obtiene un aceite

de alto valor para la fabricación de biodiesel. Esta planta contiene además principios activos con múltiples usos: medicinales, fitosanitarios y cosméticos.

2. Situar el uso de esta especie vegetal en el contexto mundial de los biocombustibles de 1ª generación, a través del análisis de los enfoques que están adoptando los Gobiernos y evaluar la sostenibilidad de su utilización como cultivo energético.

3. Determinar si puede ser recomendable para los países en desarrollo el cultivo de esta especie vegetal y en qué condiciones para favorecer el desarrollo rural y la diversificación del aporte energético en los países más pobres, como aspectos de gran repercusión económica y social, de manera que ayude a alcanzar el objetivo de la independencia energética que persiguen todos los Gobiernos.

2. MÉTODO

2.1. Metodología de búsqueda de literatura científica

En todas las grandes citas ambientales de la ONU se lleva a cabo una evaluación *in situ* de las negociaciones¹⁰⁸. En el presente trabajo se realiza en primer lugar un análisis de todas estas evaluaciones en materia de cambio climático para dejar constancia de la evolución de los acuerdos adoptados anualmente. Es importante conocer dichos Acuerdos, en el marco de esta Tesis, porque explican la necesidad de buscar combustibles alternativos, en el ámbito del transporte que representa el 40% de las emisiones de GEI a escala mundial.

En el contexto europeo se realiza una búsqueda y estudio exhaustivo, a través de EUR-LEX, de la reglamentación sobre cambio climático que transpone al derecho europeo todos los acuerdos adoptados en el seno del Protocolo de Kioto y toda la legislación relacionada que se ha desarrollado en la UE para incorporarlos. Además, se han recogido las estrategias y planes europeos sobre energías renovables que contienen y establecen los objetivos vinculantes para los Estados para la promoción de los biocombustibles, así como su desarrollo y aplicación en España.

Adicionalmente se consultan otras fuentes de información para la búsqueda de literatura científica como bases de datos (PubMed; MEDLINE, ISI Web of knowledge; Web of science) y editoriales científicas (Elsevier y Science direct).

A través de internet se ha tenido acceso a gran cantidad de estudios socioeconómicos internacionales de Instituciones, asociaciones, investigadores y grandes empresas con objeto de disponer de un amplio espectro de opiniones en la materia que posibiliten un análisis más preciso. Sorprende en este punto el enorme incremento de Instituciones de Países en desarrollo o de economías emergentes (India, China) involucradas en el estudio e investigación de nuevas formas de energía.

¹⁰⁸ Earth Negotiation Bulletin

2.2 Análisis de la información

Además del análisis Institucional, en este estudio se ha analizado la información recogida sobre cambio climático y biocombustibles a tres niveles:

1. Análisis de carácter socio-económico para identificar las diferentes perspectivas y respuestas internacionales que se cruzan en el debate mundial, los partidarios de la adopción de medidas, los detractores y los más importantes análisis económicos (Stern, 2007) que apoyan la necesidad de la adopción de medidas para hacer frente a la gran amenaza que representa el cambio climático.

Igualmente se ha analizado el estado actual de los biocombustibles en el contexto global, a través de Organizaciones como la Plataforma Mundial de Biocarburantes, la firma LICHT CONSULTING COMPANY que centra sus trabajos en esta materia, el Bureau Europeo del Biodiesel y la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA), entre otros muchos.

Se ha considerado necesario también analizar el planteamiento de las Organizaciones Internacionales más relevantes a nivel mundial (FAO, OCDE, PNUMA, AIE) y ver sus estudios y propuestas para sustituir los combustibles fósiles por biocarburantes y las implicaciones socioeconómicas que conlleva.

El cambio climático y sus implicaciones se ha estudiado asimismo desde una perspectiva ética partiendo de ensayos muy completos como el de Raúl VILLAROEL (2007) que recoge las diferentes teorías que estudian la relación del hombre con su entorno.

2. Análisis de carácter científico sobre la situación actual de los estudios más relevantes en materia de sostenibilidad de los biocombustibles, más concretamente del biodiesel.

3. Análisis de la literatura científica sobre la *Jatropha curcas* L. perteneciente a la familia de las *Euphorbiaceae*, en los diferentes ámbitos taxonómico, agronómico, toxicológico y farmacéutico.

Como norma general para el estudio de las características de la especie vegetal *Jatropha curcas* L., sus principios tóxicos, y usos y propiedades, se ha revisado y evaluado la bibliografía científica existente principalmente a través de las siguientes fuentes:

1. Biblioteca virtual de Universidad Complutense de Madrid.
2. Búsqueda en internet de toda aquella información publicada en revistas científicas, o publicada oficialmente por prestigiosas Instituciones Nacionales e Internacionales.
3. Información actual aparecida en boletines de noticias de difusión internacional (FedeBio Combustibles).
4. Las publicaciones sobre biocarburantes y más concretamente sobre la evolución del uso de *Jatropha curcas* L. para fabricación de biodiesel presentadas por las principales Organizaciones internacionales o de integración económica (FAO, OCDE, AIE, UE).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. ESTRATEGIAS SOBRE BIOCOMBUSTIBLES EN EL ÁMBITO INTERNACIONAL (UE, ESPAÑA, EE.UU., CHINA, BRASIL, INDIA) Y MARCO REGULADOR.

Como una alternativa ante un previsible final de las reservas mundiales de petróleo y como opción para asegurar la independencia energética, en los últimos años estamos asistiendo a un desarrollo significativo de los biocarburantes, entre ellos los de mayor volumen de producción, el bioetanol y el biodiesel de 1ª generación (ver 1.2.1). Solo de éstos se producen en el mundo más de 50 millones de toneladas (Mt).

No obstante, la controversia surgida en el ámbito internacional por su competencia directa con las fuentes alimenticias, que se encuentra entre los elementos causantes de la fuerte subida del precio de los alimentos, ha llevado a la necesidad de fomentar los biocarburantes de 2ª generación. Estos biocarburantes se definen así porque en su elaboración se emplea biomasa que no es susceptible de aprovechamiento directo en la cadena alimentaria, incluida la alimentación animal, y que saldrán al mercado de forma sucesiva en el periodo 2011-2015 con el fin de evitar la competencia con la producción de alimentos o los posibles impactos sobre nuevos cultivos tal como se analiza a continuación.

Tanto por su competencia con la producción de alimentos como por la falta de estudios definitivos de balance energético de emisiones totales de CO₂, que validen el interés en su utilización, existe una corriente en contra de la utilización de los biocombustibles.

3.1.1. Estrategias en el ámbito internacional. Posturas a favor y en contra. Debate científico y social y grupos de presión

En agosto de 2008, el Subdirector general de Desarrollo Sostenible de la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO) señalaba que *“el mundo ya empieza a renunciar al petróleo y dentro de 15 ó 20 años los*

*biocarburantes podrían cubrir la cuarta parte de la demanda global de energía*¹⁰⁹, afirmación que se basaba en los datos que demuestran que la producción mundial se ha duplicado en los últimos cinco años.

Este aumento no va parejo a una mejora del conocimiento sobre los posibles impactos socio-económicos y ambientales que implica su uso. Por este motivo, es necesario proceder a una cuidadosa evaluación del impacto antes de incrementar el apoyo del sector público a los programas de producción de biocarburantes a gran escala. Este impacto dependerá del tipo de materia prima agrícola empleada, del proceso de producción aplicado y de los cambios en el uso de la tierra (FAO, 2008).

Por su parte, el Banco Mundial en su “Informe sobre biocarburantes 2002-2008”¹¹⁰, considera que en este periodo se ha producido un aumento de un 75% de los precios de los alimentos en el ámbito mundial, achacable al incremento de la superficie dedicada al cultivo de biocarburantes que en algunos países va en detrimento del empleo de estas mismas tierras para cultivos alimentarios, afectando a las superficies dedicadas en especial al cultivo de maíz y azúcar (Mitchell, 2008).

En el mismo sentido se ha manifestado el Profesor Quintana, de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (México), que considera que en los países en desarrollo y más concretamente en México, el Gobierno no puede lanzarse a la promoción de los biocarburantes sin tener en cuenta los posibles impactos socio-económicos y ambientales, ya que hay que respetar y considerar importantes criterios como son el asegurar la soberanía alimentaria¹¹¹ y el derecho de las familias de campesinos a vivir de su trabajo agrícola y a proteger sus recursos. Habitualmente son empresas multinacionales las que promueven el desarrollo de biocarburantes y estas para ello deberían desplazar a los agricultores (Quintana, 2007).

¹⁰⁹ Presentación del Informe: “Energía sostenible: un marco para la toma de decisiones” de ONU-Energía en mayo de 2007.

¹¹⁰ Banco Mundial. “Informe sobre biocarburantes. Una promesa y algunos riesgos. Informe sobre el desarrollo mundial: Agricultura para el desarrollo. 2002 - 2008”. Washington. 2008.

¹¹¹ La soberanía alimentaria es el derecho de los pueblos, de los países o de Uniones de Estados a definir su política agraria y alimentaria. Va mucho más allá de la seguridad alimentaria.

El mercado global agrícola se ha caracterizado durante décadas por el aumento creciente en los niveles de producción y rendimiento en un contexto de demanda sostenida y precios agrícolas bajos. En el caso de los cereales, el mercado experimentó un súbito aumento a partir del año 2006 estrechamente relacionado con el aumento de la demanda de maíz destinado a la producción de bioetanol¹¹², las sequías que se produjeron en algunos países productores de grano (Canadá, Australia, Argentina), el aumento del precio del petróleo¹¹³ que tiene un efecto directo sobre el precio de los fertilizantes, la mayor demanda de una dieta más variada por parte de las clases medias en Asia-países emergentes¹¹⁴, y la especulación en los mercados de productos básicos. Aunque las causas sistemáticas que provocaron el aumento siguen en entredicho, probablemente se trató de una confluencia de estos diferentes factores.

Francisco BLANCH, Director Global de Investigación en productos básicos, de MERRIL LYNCH afirmaba en una rueda de prensa en junio de 2008: “Estimamos que el incremento en la producción de etanol de maíz de EE.UU., ha hecho que los precios de este cultivo se incrementen el 21% desde el 2004”.

En enero de 2007 en México, el maíz se disparó hasta sus niveles más altos en 10 años, generando un fuerte descontento social. Las tortillas, obleas hechas a base de maíz blanco, son un alimento básico de la dieta mexicana. La “crisis de la tortilla” provocó además que se encarecieran otros productos básicos, como la leche, el azúcar o los huevos. El precio de la tortilla se llegó a situar por encima de los 10 pesos (equivalente a 0,65 Euros) tras registrar un aumento de cerca del 11% en 2006 y del 70% en los 6 años previos. En Ciudad de México, se llegó a elevar el precio el 25%, a pesar de ser el alimento diario, rico en carbohidratos, de muchos obreros.

El Senado de la República Mexicana, aprobó en abril de 2007, promover el uso y producción de etanol y otros biocombustibles derivados del maíz y el azúcar,

¹¹² “Food versus fuel” es el dilema que se planteó a escala global entre los agricultores de países en desarrollo en relación con la intención de rentabilizar más sus explotaciones agrícolas destinándolas bien a cultivos energéticos o para alimento.

¹¹³ De 65 dólares el barril en Junio de 2007 a 145 dólares en Julio 2008.

¹¹⁴ El Director del Instituto Internacional de Investigación en Política de Alimentos (IFPRI), Joachim VON BRAUN considera que este es uno de los aspectos más importantes del aumento global del precio de los alimentos.

a pesar de las críticas de académicos y de ONG. México es el centro de origen del maíz y este grano es la base de la alimentación mexicana. De acuerdo con la *Ley de Promoción de los Bioenergéticos*, el objetivo era producir biocombustibles reemplazando a los combustibles fósiles, en concordancia con el compromiso con el Protocolo de Kioto.

EE.UU. dirige una gran parte de exportaciones de maíz al mercado mexicano, de modo que es ineludible que las variaciones del precio del maíz tengan impacto sobre este mercado. El aumento en el precio de los alimentos que se experimentó en esos años, en especial los obtenidos del maíz, como las tortillas en México, tuvo que ver, entre otros factores, con la demanda de productos agrícolas para la producción de bioetanol. Este alza fue impulsada en gran parte por el aumento en los precios del petróleo, vinculado con cambios en la estrategia energética que desarrolla EE.UU. para reducir su dependencia de la importación del combustible fósil (González y Castañeda, 2008).

Por otro lado, la desestabilización que provocaron los préstamos indiscriminados y la especulación en la vivienda, afectó a la inversión en el “mercado de futuros”¹¹⁵ de Chicago (EE.UU.). Millones de dólares fueron transferidos al mercado de alimentos y productos básicos buscando un retorno rápido. Esta manipulación del mercado¹¹⁶ tuvo un efecto directo sobre las necesidades fundamentales de miles de personas en todo el mundo en el contexto de la globalización de la producción de alimentos. Este hecho impediría a la postre el control de las variables económicas por parte de los Estados y más en países en desarrollo.

En respuesta a las tensiones generadas por el alza de la tortilla, el Consejo Nacional Agrícola de México pidió autorización al Gobierno para sembrar maíz transgénico para intentar estabilizar su precio. El presidente de México, Felipe

¹¹⁵ Son plazas donde se negocian contratos de futuro que, a su vez, son acuerdos para comprar o vender un activo en una fecha futura establecida a un precio determinado. El de Chicago es la Bolsa de Comercio Mundial existente más importante. Su objetivo fundacional era crear un lugar donde se facilitaran los intercambios comerciales, que uniformizara las prácticas en el comercio, y que promocionara estas prácticas entre la colectividad de comerciantes.

¹¹⁶ Un reciente artículo “Clearing the usual suspects” de Buttonwood, publicado en *THE ECONOMIST* el 24 de junio de 2010, descarga de culpa a los inversores.

CALDERÓN, firmó un acuerdo con productores y comerciantes. Un mes antes aprobó la importación de 650.000 tn. de maíz del extranjero y se comprometió a reducir la dependencia de las importaciones de EE.UU. que en 2006 sumaron entre 7 y 8 Mt. Por su parte, el Partido de la Revolución Democrática (PRD), principal partido de la oposición, llegó a pedir la dimisión del Ministro de Economía por su "incapacidad" y le recordó que la alimentación de 10 millones de pobres depende de las tortillas.

La crisis reabrió además el debate en el país sobre el uso de transgénicos. En México, donde se producen anualmente 22 Mt de maíz blanco, hay desde hace 8 años una moratoria a la siembra de maíz transgénico, aunque el Gobierno dijo que podría modificar muy pronto esa posición.

Grupos ecologistas y pequeños productores se oponen firmemente al maíz transgénico y consideran que podría poner en riesgo la diversidad de las 264 variedades criollas de la planta que se han cultivado durante miles de años en dicho territorio, donde se domesticó y que hoy ocupa el tercer lugar mundial en cuanto a superficie cultivada (García y Arellano, 2007).

Los críticos dicen que reducir la diversidad del cereal volvería al país vulnerable a plagas y sólo beneficiaría a unos pocos grandes productores. La mayoría de las plantaciones de maíz en México son pequeños terrenos y la mayoría de la siembra es para subsistencia. Sin embargo, los defensores del maíz genéticamente modificado dicen que impulsaría el rendimiento de las cosechas en el 15% y fortalecería a las plantas contra las plagas y sequías. Las cosechas en México tienen un rendimiento que no supera las 3 tn/ha, de acuerdo con cifras oficiales mexicanas, muy por debajo de las 11 tn/ha que se cosechan en EE.UU. donde el uso del cultivo de transgénicos es común¹¹⁷.

¹¹⁷ Las nuevas variedades modificadas genéticamente ponen sobre la mesa el controvertido problema de las patentes en biotecnología ya que la obtención de estas variedades implica una fuerte inversión económica (la I+D en este sector representa entre un 40-50%), por parte de las compañías de semillas que quieren rentabilizar su trabajo mediante la obtención de patentes. La protección adecuada de la propiedad intelectual es un modo de asegurar que las empresas de biotecnología puedan apropiarse de los resultados de su I+D y reducir la probabilidad de que sean imitados por la competencia. Podemos considerar que las patentes son la piedra angular del negocio de este sector, pero, toda patente debe cumplir una serie de requisitos que no se dan con el material biológico. La concesión de una patente viene condicionada por el cumplimiento de los criterios de patentabilidad:

- Novedad: algo que no se deduce automáticamente del estado previo del arte.
- Resultado de actividad inventiva (no obviedad o altura inventiva).

Otros problemas derivan de la situación legal de las patentes sobre estas variedades transgénicas, desde el momento en que se alega que corresponden a variedades autóctonas no registradas por nadie anteriormente¹¹⁸.

En esta línea se mueven varias organizaciones ecologistas (GREENPEACE, 2008; FRIENDS OF THE EARTH, 2007) y humanitarias (INTERMON OXFAM, 2008). Estas Organizaciones se sitúan en general mayoritariamente en contra de los biocombustibles, y más concretamente en contra de la producción de bioetanol, al que atribuyen una responsabilidad directa sobre los problemas del mercado global de los alimentos carestía e incremento de precios. Ambas Asociaciones han firmado igualmente el Manifiesto presentado por el Movimiento Mundial por los Bosques Tropicales a la Conferencia de las Partes del Convenio de Cambio Climático¹¹⁹. A esta postura también se han sumado importantes empresas de alimentación, como NESTLÉ¹²⁰ que han lanzado mensajes poco favorables y hasta catastrofistas sobre los biocombustibles¹²¹

-
- Susceptibilidad de aplicación industrial (utilidad).

¹¹⁸ Burrone (2006). La protección de los derechos de propiedad intelectual sobre las plantas ha discurrido en buena parte por una senda distinta a la de las patentes clásicas, lo que ha originado en la nueva era biotecnológica algunos problemas de interpretación, armonización de normativas y colisión con los derechos de patentes.

Estos descubrimientos en muchos casos, suponen un ejercicio de “biopiratería” hacia los países propietarios de los recursos genéticos en los que se basan las investigaciones que posteriormente se patentan, ya que los agricultores deben pagar por el uso del material genético propio. Un ejemplo claro lo tenemos en el caso de la compañía de semillas de siembra POD-NERS, basada en Colorado que compró semillas de frijol amarillo en Sonora, México. Dos años más tarde el presidente de la empresa, Larry PROCTOR, solicitó y obtuvo una patente exclusiva (US #5984079) sobre la semilla llamada Enola y procedió a demandar a dos productores mexicanos PRODUCTOS VERDE VALLE y TUTULI PRODUCE, quienes vendían el frijol en EE.UU. Proctor clamó que la actividad comercial de estas dos compañías mexicanas era una violación a su patente. La patente está actualmente siendo revisada por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y permanece pendiente mientras la Oficina de Patentes de Estados Unidos emita un veredicto (GLOBAL EXCHANGE, 2001).

¹¹⁹ Disponible en: <http://cmpcc.org/adhesiones/>

¹²⁰ Peter BRABEK, Presidente de la compañía declaró en rueda de prensa el 24 de marzo de 2008 que “Si se quiere cubrir el 20% de la necesidad creciente de productos petroleros con biocarburantes, como está previsto, no habrá nada que comer”.

¹²¹ Frente a estas posiciones en contra, otras organizaciones, como la Asociación de Productores de Energías Renovables (APPA) en España, a través de su sección de biocombustibles, analiza las contradicciones en las que incurren muchos de los estudios críticos publicados, contrarios a los biocarburantes, aparecidos en los últimos años. APPA recuerda que la CE en la nueva Directiva 2009/28/CE¹²¹ sobre Fomento del Uso de la Energía procedente de fuentes renovables, establece que todos los biocarburantes deberán reducir al menos un 35% las emisiones de GEI respecto al petróleo, entre otros de los criterios de sostenibilidad que se exigen a estos productos.

De acuerdo con los defensores de la producción de biocombustibles, este sector liderará la sostenibilidad de sus producciones, mediante la certificación de que sus materias primas no contribuyen a la deforestación, la destrucción de zonas húmedas o la pérdida de biodiversidad. Insisten también en los beneficios sociales y económicos aparejados, entre

GREENPEACE opina que la bioenergía forma parte de la solución para combatir el cambio climático. Sin embargo, no puede en ningún caso servir de excusa para mantener un uso insostenible y debe ir de la mano con otras medidas, políticas y sociales, para reducir el consumo de energía y aumentar la eficiencia energética (GREENPEACE, 2007)¹²²

Actualmente, el análisis de evolución del sector indica que el mercado de biocarburantes está evolucionando hacia un mercado globalizado, donde destacan especialmente EE.UU., Brasil, China y la UE. La principal barrera que sigue existiendo para su desarrollo a mayor escala, es su coste. A pesar de ello, existe una clara apuesta por la promoción de los biocarburantes como se demuestra en los porcentajes fijados por los principales productores (FAO, 2008):

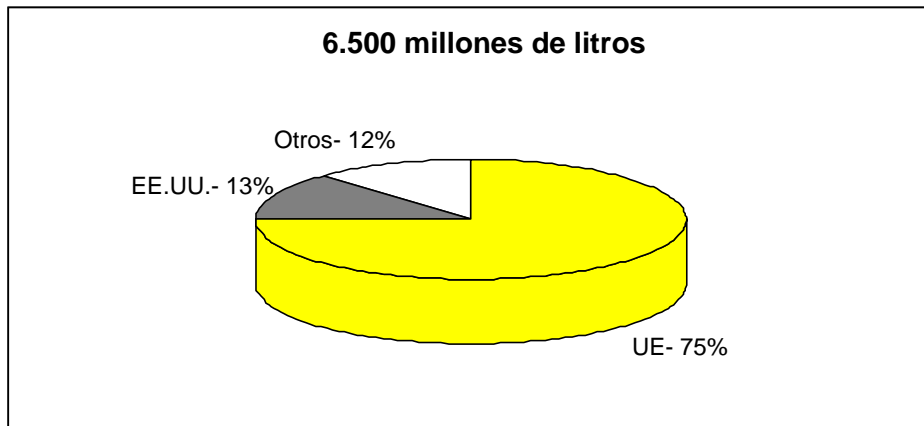
- UE: 5,75% para 2010 y 10% para 2020.
- EE.UU.: 4% para 2010 y 20% para 2030.
- Brasil: 25% de mezcla obligatoria de bioetanol en gasolinas.
- Canadá: 7,5-10% de mezcla obligatoria de bioetanol en gasolina (según las regiones).
- China: 10% de mezcla obligatoria de bioetanol en gasolina.

En los Gráficos 4 y 5 se aprecia claramente que la producción mundial de biodiesel y bioetanol está muy concentrada.

los que destacan la reducción de la dependencia energética, el aumento de la diversificación de suministro, la mejora de la balanza comercial, el incremento del rendimiento de los vehículos y el impulso en el sector agrícola. (APPA, 2009).

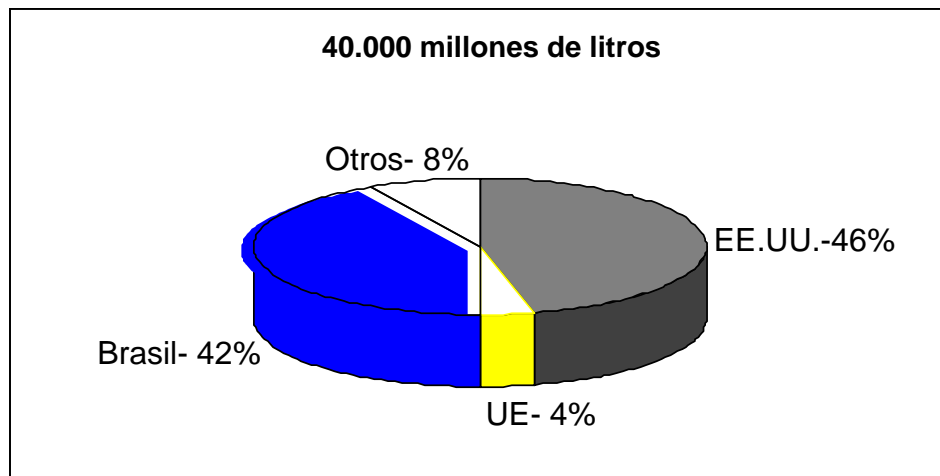
¹²² Asimismo considera que “para evitar los efectos más peligrosos del cambio climático, debemos mantener la subida media de la temperatura global por debajo de los 2° Celsius, y para ello necesitamos llevar a cabo un auténtico cambio en nuestros hábitos de uso y producción de la energía. Debemos poner fin a la deforestación y hacer sostenible nuestro sistema agrícola. La bioenergía puede jugar un papel en la revolución energética, aunque este papel debe limitarse porque cualquier uso de bioenergía debe ser sostenible y contribuir a reducir sustancialmente las emisiones de GEI. Junto a las medidas de apoyo a la bioenergía deberán emplearse otras medidas para reducir el cambio climático, como mejorar la eficiencia y reducir el consumo de energía.” (Greenpeace, 2007)

Gráfico 4. Producción Mundial de Biodiesel



Fuente: LICHT CONSULTING COMPANY (2007)

Gráfico 5.- Producción mundial de bioetanol.



Fuente: LICHT CONSULTING COMPANY (2007)

A pesar de la creciente demanda, la superficie de tierra cultivable dedicada a la producción de cereales para la obtención de biocarburantes a nivel mundial ha ido disminuyendo de respecto a la que se destinaba a este fin a principios de 1980. Sólo en el periodo 2008-2009, el área de las tierras de cultivo de cereales en el mundo disminuyó casi en 3,6 millones de hectáreas (Mha), como resultado de la mejora de la productividad agrícola.

Sólo en los EE.UU., el rendimiento de maíz por hectárea se ha incrementado en un 38% en los últimos 20 años (USDA database, 2010).

Para los próximos años, el mayor incremento (90 %) de la producción agrícola mundial destinada a producción de biocombustibles utilizará una superficie similar de tierras de cultivo a las existentes en la actualidad gracias a los aumentos de rendimiento agrícola y al incremento en las inversiones en infraestructura agrícola (FAO, 2009).

En relación con el aumento de precios de las materias primas atribuido a los biocombustibles, un estudio reciente del Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales del Reino Unido (DEFRA), denominado “El papel de la demanda de biocarburantes en las alzas de los precios de los productos agrícolas de la campaña 2007/2008”, concluye que la transformación en biocombustibles de “1ª generación” no fue la responsable de la crisis alimentaria que se produjo en esos años, ya que no tuvieron una influencia apreciable en el encarecimiento de ninguna de las materias primas clave analizadas que se destinan a su producción como son la soja, el trigo, el maíz o el azúcar (Pfuderer *et al.*, 2010).

El informe suscribe los objetivos fijados por la UE para los próximos años en relación con estos productos, ya que señala que el aumento de los precios del petróleo, especialmente en los sectores de cereales y oleaginosas, es el verdadero responsable de las subidas, sin olvidar la variación de la producción agrícola de un año a otro, y las malas cosechas causadas por la sequía de esos años, así como las restricciones a las exportaciones adoptadas por algunos países. Se señala que en la actualidad, los precios de las materias primas han descendido bruscamente, el maíz bajó de 230 €/tn en junio de 2008 a 130 €/tn en marzo de 2009, aunque la producción de bioetanol siguió creciendo durante ese período. No hay que olvidar además que solamente el 0,8% de la producción mundial de trigo se destinó en 2008 a la fabricación de bioetanol y en cuanto a la de biodiesel, supuso en ese año un 4,5% de la producción mundial de aceite de palma. Por último, se señala que hay 10 Mha en Europa central y Oriental sin cultivar que podrían destinarse a estos fines, y critica la

falta de rigor científico de otros estudios previos, en especial los del Banco Mundial y el Fondo Monetario Internacional (FMI)¹²³.

3.1.1.1. Unión Europea y España

Los Gobiernos de la UE acordaron en 2006 el objetivo de alcanzar una producción de biocombustibles del 10% para 2020, como parte de una batería de medidas destinadas a reducir las emisiones causantes del cambio climático¹²⁴, pero el Comité Científico de la Agencia Europea de Medio Ambiente en un informe reciente (EEA, 2008) considera que esa meta es "demasiado ambiciosa" y recomienda suspenderla hasta que se lleve a cabo una amplia investigación sobre lo bueno y lo malo de los biocombustibles).

Estos llamados combustibles agrícolas, básicamente etanol y biodiesel, se obtienen a partir de alimentos como el azúcar, el maíz, el aceite de palma y la soja, entre otros cultivos.

El Comité científico de la EEA afirma que, para cumplir el objetivo de 10%, se requerirán importaciones de biocombustibles a gran escala, y que con una creciente producción de materias primas como el aceite de palma, para refinar biodiesel, a costa de deforestar selvas y bosques en países pobres, será muy difícil controlar si los cultivos destinados a alimentar el transporte europeo se obtienen de manera sostenible por lo que el planteamiento sería éticamente inaceptable.

Si bien el biodiesel y el etanol emiten menos GEI que los correspondientes combustibles procedentes de fuentes fósiles, como el gasóleo y la gasolina, la deforestación es otra fuente importante de gases que se liberarían a la atmósfera. Por eso se necesita observar toda la cadena de producción de los biocombustibles para certificar que la contaminación que se elimina por un lado no se genere por otro.

¹²³ Hoy en día, en la aldea global de las comunicaciones, resulta un problema la facilidad con que se difunden y circulan por todo el mundo noticias sin una base científica real o no suficientemente contrastadas, como ha sido el achacar el aumento del precio de los alimentos exclusivamente a la producción de biocombustibles.

¹²⁴ Estrategia Europea para los biocarburantes. DO C 67 de 18.3.2006, pp.1-31.

Por estas razones, el Comité Científico de la EEA señala que quizás la producción y uso de biocombustibles no conduzcan realmente a grandes reducciones de CO₂, el principal gas de efecto invernadero, en comparación con los derivados del petróleo. El citado documento del Comité cuestiona además si la meta de la UE es realista, dado que el objetivo adoptado en 2003, que proponía alcanzar el 2% de biocombustibles en el 2005 en el sector transporte, no se alcanzó (EEA, 2008).

La posición de la EEA contrasta con la del Presidente de la CE, el portugués José Manuel DURÃO BARROSO¹²⁵, quien insiste en que la UE debería "sostener" su meta, puesto que la alternativa a los biocombustibles es seguir utilizando derivados del petróleo.

DURÃO BARROSO también desestima las advertencias del Programa Mundial de Alimentos de las NN.UU. y del Banco Mundial acerca de que un crecimiento desorbitado en la demanda de combustibles agrícolas está contribuyendo a elevar los precios de los alimentos y los riesgos de hambrunas en países pobres. Coincide con él el Comisario Europeo de Energía, el letón Andris PIELBAGS, quien afirma que los biocombustibles se han convertido en los "culpables" de los altos precios de los productos básicos, cuando en verdad tienen más culpa las malas cosechas y el mejor nivel de vida en India y China.

Para Adrian BEBB, de la Organización FRIENDS OF THE EARTH, la meta del 10% no es sostenible. Considera que la postura de la CE obedece más a la influencia y las presiones de empresas con grandes intereses en el sector de los combustibles agrícolas que al deseo de proteger el ambiente. Gerard CHOPLIN, de la Coordinación de Agricultores Europeos, dijo que los "biocombustibles no son un chivo expiatorio". En EE.UU. se usa cada vez más maíz para biodiesel, por tanto ese país exporta menos maíz. Esto implica una nueva presión en el mercado internacional, directamente vinculada a los biocombustibles"¹²⁶.

¹²⁵ "Europe's Climate Change Opportunity" SPEECH/08/26 Lehman Brothers London, 21 de enero 2008.

¹²⁶ Disponible en www.diariodigital.com, marzo 2010.

En la Tabla 9, se observan las grandes diferencias existentes en la UE en 2008 en relación con el consumo de biocombustibles, donde se destaca la importante promoción llevada a cabo por Alemania desde el principio.

Tabla 9.- Consumo de biocarburantes destinados al transporte en la UE en 2008 en toneladas equivalentes de petróleo (TEP).

País	Bioetanol	Biodiesel	Otros	Consumo total
Alemania	403.689	2.381.653	354.376	3.139.726
Francia	414.661	1.859.368	-	2.27.029
Austria	54.757	330.747	14.032	399.536
Suecia	214.875	128.109	28.423	371.407
Reino Unido	103.325	698.338	-	801.663
España	93.179	520.012	-	613.191
Italia	58.040	658.379	-	716.419
Polonia	119.691	424.183	-	543.874
Portugal	0	128.837	-	128.837
Grecia	0	67.398	-	67.398
Países Bajos	105.116	179.397	-	284.513
Rep.Checa	32.709	77.875	-	110.584
Lituania	15.648	45.750	-	61.398
Eslovaquia	7.041	57.758	-	64.799
Hungría	47.115	117.607	-	164.722
Bulgaria	-	3.765	-	3.765
Eslovenia	1.528	19.667	-	21.196
Dinamarca	5.072	243	-	5.315
Irlanda	18.186	37.559	-	55.744
Rumania	0	122.529	-	122.529
Letonia	18	1.917	-	1.935
Bélgica	12.283	87.054	-	99.337
Malta	0	661	-	661
Finlandia	64.488	9.721	-	74.209
Estonia	1.429	2.807	-	4.236
Luxemburgo	929	42.590	492	44.011
Chipre	n.a	14.079	0	14.079
TOTAL UE	1.773.788	8.018.003	397.323	10.189.113

Fuente: EurObserver (2010).

En cuanto a España, el consumo de biocarburantes ascendió a finales de 2004 a 228,2 ktep y en 2008 esta cifra se había prácticamente triplicado. La relevancia de este dato se encuentra en el hecho de que, hasta el año 2000 no

existía ninguna planta de producción de biocarburantes en funcionamiento, mientras que a finales de 2004 nuestro país ya era el líder europeo en la producción de bioetanol y había experimentado un rápido avance en el sector del biodiesel.

En cuanto a valores absolutos, a finales de 2004 ya se había completado el 45,6% del objetivo energético que fijó el Plan de Fomento para esta década en el horizonte de 2010. Hasta el año 2008 en este sector ha habido una tendencia de crecimiento. En estos dos últimos años el sector, especialmente en relación al biodiesel¹²⁷, ha reducido sus expectativas de manera importante por la fuerte competencia de las importaciones, que dibuja un escenario de expansión realmente pesimista si no se establecen medidas de protección al de origen nacional. Este hecho, no obstante, provocaría distorsiones al comercio global y representaría una barrera comercial para las importaciones de países en desarrollo¹²⁸.

3.1.1.1.1. Libro Blanco para una Estrategia y un Plan de Acción Comunitarios: Energía para el futuro: Fuentes de energía renovables

En la UE la apuesta por los biocarburantes comenzó en 1996 con la presentación del Libro Blanco por el que se establece una “Estrategia y un Plan de Acción comunitario para la promoción de las energías renovables”. Las dos principales razones por las que se buscaba el fomento de las fuentes de energía renovables, alternativas al petróleo, son:

1. La necesidad de garantizar la seguridad del abastecimiento energético mediante una diversificación de las fuentes de combustible; en efecto,

¹²⁷ En 2008 la capacidad de producción total de *biocombustibles* en España ha sido de 3.2 millones de toneladas de biodiesel y de 456.000 toneladas de bioetanol (Appa Info29).

¹²⁸ El BANCO MUNDIAL, a través de su Programa de Asistencia a la Gestión del Sector Energético (ESMAP) que se desarrolla conjuntamente con el Programa de las NN.UU. para el Desarrollo (UNDP), considera en su informe “Potential for Biofuels for Transport in Developing Countries” (2005), que la eliminación de las barreras comerciales al comercio de biocombustibles sería muy beneficioso por las siguientes razones:

- Los productores más eficientes podrían expandir sus mercados, mientras que los más ineficientes cerrarían sus instalaciones, lo que redundaría en beneficio de esta industria en el ámbito global.
- Desaparecería la fuerte presión sobre los gobiernos para otorgar y mantener subvenciones a favor de los biocombustibles.

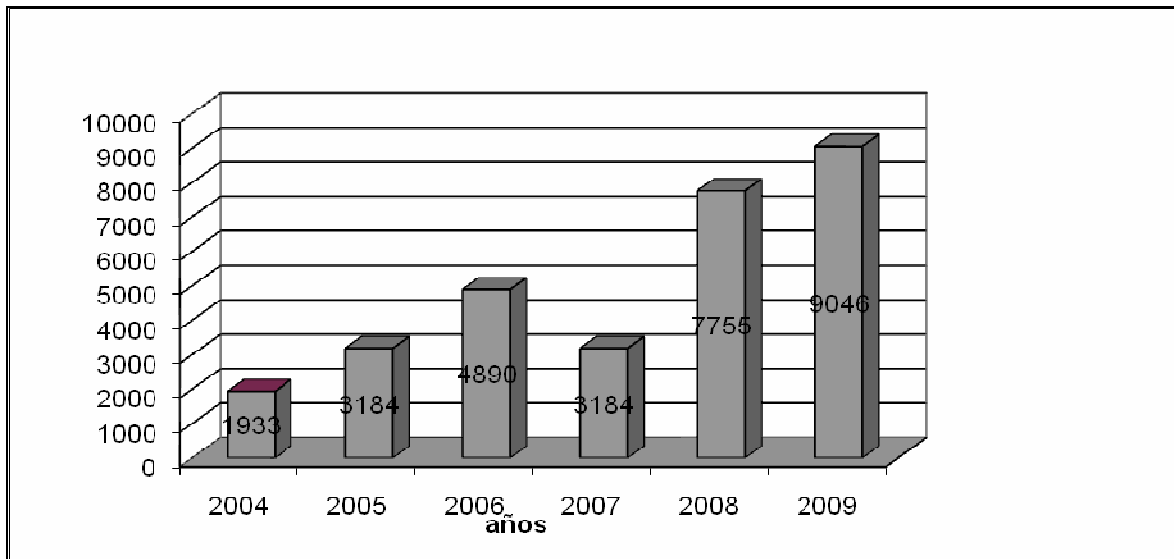
la cantidad limitada de petróleo disponible y las fluctuaciones de los precios de los combustibles fósiles constituían y lo siguen haciendo, un reto cada vez más acuciante para el sector del transporte y la economía de los países, y

2. La alta contribución del sector del transporte en las emisiones de GEI; en esos años. A punto de adoptarse el Protocolo de Kioto, el transporte representaba el 21% de las emisiones totales de GEI, por lo que era necesario utilizar combustibles menos contaminantes que el petróleo para poder cumplir con los compromisos que se planteaba la UE de reducir el 15% las emisiones de GEI con respecto a los niveles de 1990.

Además de ello, el Plan reconocía que: *“Es necesario también tener en cuenta los cultivos energéticos si se quiere alcanzar el objetivo de doblar el porcentaje correspondiente a las energías renovables del consumo total de energía”*.

En relación con la biomasa, este Plan reconoce que en 1997, la energía procedente de la misma constituía únicamente el 3% del consumo energético total en la UE (UE15), pero en los Estados miembros incorporados en el 1995, -Austria, Finlandia y Suecia- esta fuente renovable de energía ya representaba el 12%, 23% y 18% respectivamente del suministro principal de energía. La Estrategia consideraba un objetivo realista, alcanzar para el año 2010 el triple de la cifra de 44,8 Mtep, que se obtenían en ese momento de la biomasa, siempre y cuando se adoptaran realmente medidas efectivas. Ello significaría un consumo adicional de biomasa de 90 Mtep, equivalente al 8,5% del consumo total de energía previsto en ese año que se obtendrían de todas las fuentes disponibles (agricultura, silvicultura, residuos y nuevos cultivos energéticos). La estrategia reconocía la importancia de que el desarrollo de la explotación de la biomasa exija un cuidado especial para proteger la diversidad biológica en la UE adoptando estrategias y soluciones que minimicen los efectos negativos en este ámbito.

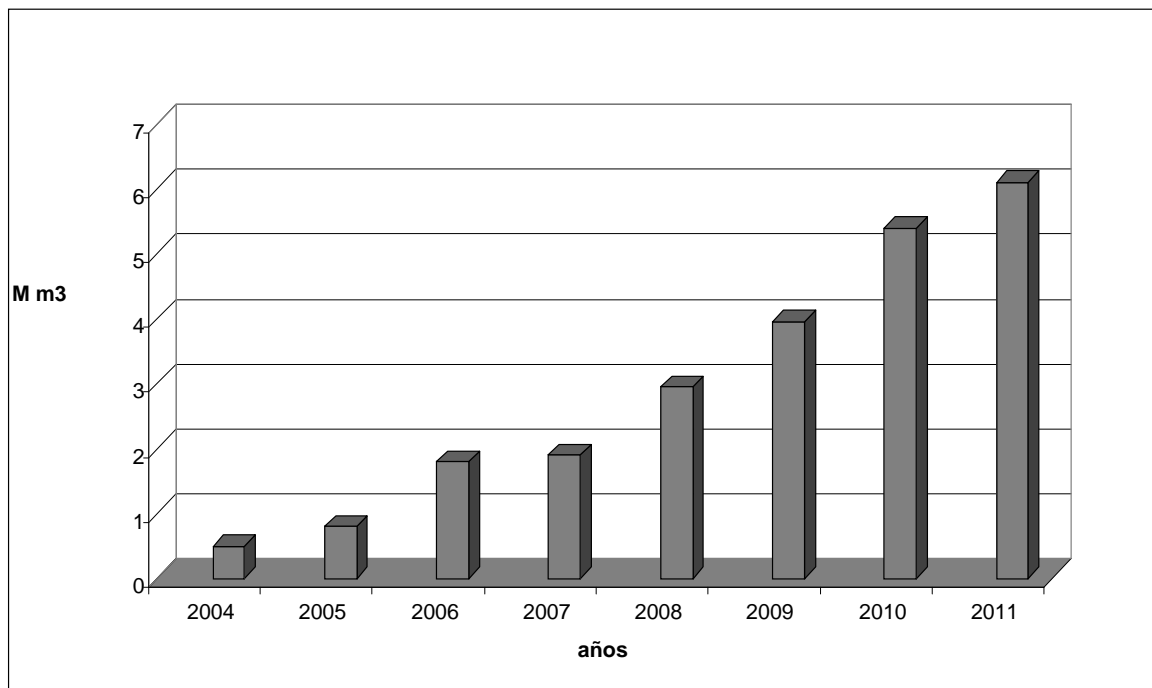
Gráfico 6.- Evolución de la Producción de Biodiesel en la UE (Mt)



Fuente: EEB (2010)

Los Gráficos 6 y 7 muestran el comportamiento de la evolución de la producción de biodiesel y bioetanol respectivamente en la UE en los últimos años.

Gráfico 7.- Evolución de la producción de Bioetanol en la UE



Fuente: Biofuels Platform (2011)

3.1.1.1.2. «Estrategia de la UE sobre los biocarburantes»

La revisión de 2006 sobre el futuro de los biocarburantes en la UE se desarrolla en la Comunicación de la CE, de 8 de febrero de 2006, «Estrategia de la UE para los biocarburantes»¹²⁹.

En esta estrategia, la CE define el papel que podrían desempeñar en el futuro los biocarburantes y propone medidas que permitan fomentar la producción y el uso de los mismos, debido a que la contribución significativa del sector del transporte en las emisiones de GEI representa el 21 % de las emisiones totales de estos gases, y es preciso reducir ese porcentaje para tender al cumplimiento de los compromisos europeos en el marco del Protocolo de Kioto, por lo que es necesario utilizar combustibles menos contaminantes que el petróleo.

La CE considera que la necesidad de garantizar la seguridad del abastecimiento energético mediante una diversificación de las fuentes de combustible, la cantidad limitada de petróleo disponible y la subida de los precios de los combustibles fósiles constituyen un reto cada vez más acuciante para el sector del transporte y la economía de los países.

La estrategia completa el Plan de acción sobre la biomasa que se adoptó a finales de 2005 y responde a un triple objetivo: (1) promover una mayor utilización de los biocarburantes en la UE y los países en desarrollo, (2) preparar la utilización a gran escala de biocarburantes, y (3) desarrollar la cooperación con los países en desarrollo para la producción sostenible de biocarburantes. Todo esto, a pesar de que en ese momento, el precio de los biocarburantes en la UE no era competitivo, por la necesidad de construir nuevas instalaciones de producción y adaptar los sistemas de distribución. Para serlo el barril de petróleo debe estar a 60 dólares¹³⁰ en el caso del biodiesel, y a 90 dólares para el bioetanol.

¹²⁹ [COM (2006) 34 final – DO C 67 de 18.3.2006. pp. 1-31.

¹³⁰ Se expresa en dólares por ser la moneda en la que se fija el precio del petróleo

El triple objetivo de la Estrategia¹³¹ se articula en torno a 7 ejes políticos, en los que se agrupan las medidas prioritarias que adoptaría la CE:

1. Estimular la demanda de biocarburantes. Para ello la CE propone fijar objetivos nacionales y otorga una importancia especial a los beneficios fiscales que contempla la Directiva de 2003 sobre imposición de los productos energéticos, y al posible desarrollo de un Reglamento sobre incentivos vinculados al rendimiento ambiental de los combustibles¹³².
2. Beneficios ambientales. Al considerar los biocarburantes en función de las emisiones de GEI. Se otorga importancia a la producción sostenible de los cultivos energéticos en la UE y en los países terceros, sobre todo por la protección de la biodiversidad y la calidad de las aguas y suelos. Otro elemento importante es la compatibilidad de las normas técnicas con las ambientales, en relación con las cantidades máximas de biocarburantes presentes en la gasolina y el diesel.
3. Aspectos económicos de la promoción. La CE plantea a los Estados miembros que tengan en cuenta la posibilidad de creación de puestos de trabajo que ofrece la producción de estos combustibles y se muestra dispuesta a eliminar obstáculos a su introducción.
4. Producción sostenible de biocarburantes. La CE propone ampliar el suministro de materias primas, con medidas de apoyo a la producción de azúcar para fabricar bioetanol en los regímenes de ayuda de la PAC, mediante un plan de acción forestal o la posibilidad de utilizar subproductos de origen animal y residuos como recursos energéticos.
5. Oportunidades comerciales de los biocarburantes. La CE se plantea el uso de códigos arancelarios distintos para estos pero apoya un enfoque equilibrado entre la producción europea y de las importaciones de biocarburantes en la OMC.
6. Apoyo a los países en desarrollo con potencial para la producción de biocarburantes. Podría plasmarse en medidas de acompañamiento destinadas a los países afectados por la reforma del sector del azúcar, un programa específico de ayuda para los biocarburantes y un marco

¹³¹ DO C 67 de 18.3.2006. pp. 1-31.

¹³² Hasta la fecha no elaborado.

de cooperación eficaz que cree plataformas nacionales y planes regionales de acción para los biocarburantes.

7. Mantener el fomento de la investigación y la innovación para mejorar los procedimientos de producción y reducir los costes. Las principales medidas se referirán, entre otras cuestiones, al fomento de las actividades de I+D a través del Séptimo Programa Marco de investigación, y al apoyo a los biocarburantes de 2ª generación (es decir, los procedentes del tratamiento de materias primas lignocelulósicas, como la paja o los residuos forestales). A este respecto, en 2006 existían ya 3 instalaciones piloto en Suecia, España y Dinamarca, que estaban obteniendo resultados muy esperanzadores.

La Estrategia da mucha importancia a la creación de plataformas tecnológicas europeas, lideradas por la industria, como la relativa a los biocarburantes, para lograr una visión europea común en la producción y el uso de los biocarburantes.

La CE reconoce que si se quiere alcanzar el objetivo de doblar el porcentaje correspondiente a las energías renovables del consumo total de energía, es necesario también tener en cuenta los cultivos energéticos. En total, la contribución de los cultivos a la producción de bioenergía se calcula en 45 Mtep en el año 2010, es decir una cantidad igual a la prevista en relación con la bioenergía obtenida a partir de residuos y basura. De esa cantidad, una situación hipotética posible indica que 18 Mtep podrían ser en forma de biocarburantes líquidos (incluidos no obstante los biocarburantes líquidos procedentes de cultivos no energéticos tales como los residuos de madera, los aceites vegetales usados, o el biogás para carburantes de motores) y 27 Mtep en forma de biomasa para calefacción y/o electricidad.

En esos momentos, los biocarburantes líquidos eran los productos menos competitivos de la biomasa en el mercado a causa de los bajos precios del petróleo. No obstante, ya se reconocía la importancia de garantizar una presencia constante y el aumento de estos combustibles en el mercado puesto que los precios a corto y medio plazo del petróleo son imprevisibles, y a más largo plazo serían necesarias alternativas a las reservas finitas de petróleo. Se

esperaba que la demanda de energía en el sector del transporte aumentara fuertemente en el futuro, y por tanto también los problemas de emisiones asociados y la dependencia exterior del petróleo si no hay alternativas posibles. Los biocarburantes tienen un balance energético global positivo, aunque variable según el cultivo, y depende asimismo del cultivo sustituido.

El aumento del consumo de dichos combustibles depende de forma crucial de la reducción de las diferencias entre los costes de producción de los biocarburantes y los productos competidores.

El “área agrícola utilizada” en la UE con 15 Estados miembros (UE15) era en 1993, de aproximadamente 141 Mha, de las cuales 76 M eran “tierras de cultivos”. Puesto que es dudoso que fuera ecológicamente sostenible dedicar más de 10 Mha, es decir el 7,1% de las tierras cultivables, a la producción de cultivos destinados a la biomasa, la selección de especies de cultivos para biocarburantes líquidos tendría que limitarse a las más productivas con el máximo beneficio y el menor impacto ambiental.

3.1.1.1.3. Informe sobre los biocarburantes.

El informe sobre los biocarburantes¹³³ presentado por la CE en enero de 2007, en cumplimiento del artículo 4 de la Directiva 2003/30/CE¹³⁴, hace una revisión de la situación en la UE en relación con los biocarburantes. Los niveles alcanzados resultaron ser muy inferiores a los objetivos indicativos fijados (5,75% para 2010) para los Estados miembros, para evitar la tendencia del crecimiento de las emisiones en el sector del transporte cifradas en 77 Mt entre 2005 y 2020, y los objetivos de reducir la dependencia del petróleo y aumentar el porcentaje de renovables en la Unión. Solamente dos países, Alemania y Suecia, superaron el valor de referencia del 2% en 2005, por lo que no parecía factible que para 2010 se pudiera alcanzar el objetivo fijado de cuota de mercado en la UE. Así, el informe se centraba más en:

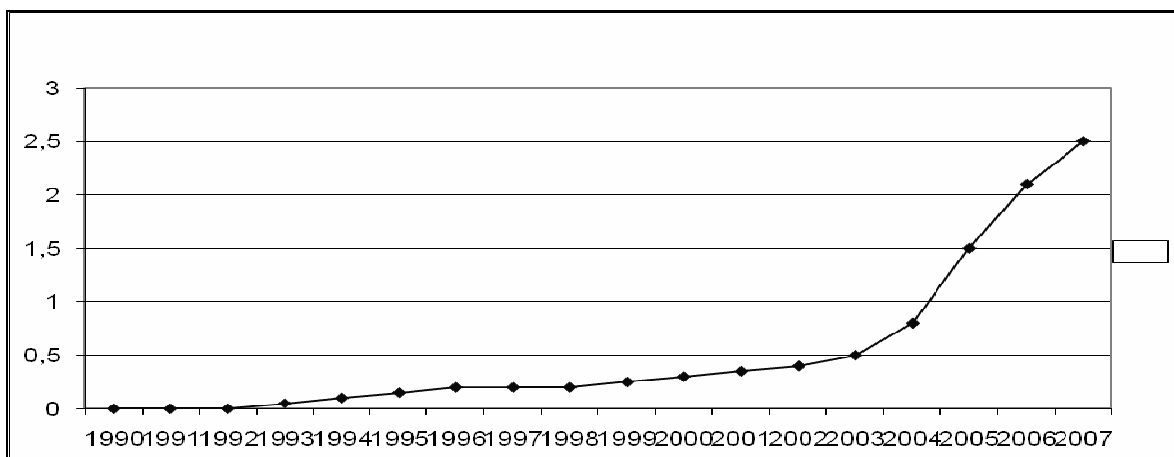
¹³³ “Informe sobre los Biocarburantes”. Comunicación de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo. COM (2006) 845 final de 10 de enero de 2007. DO C 44 de 16.02.2008, pp.34- 44.

¹³⁴ DO. L 123 de 17.05.2003 pp. 42-49.

- La necesidad de fomentar los biocarburantes de 2ª generación para evitar la competencia con la producción de alimentos que saldrán al mercado entre 2010-2015¹³⁵.
- Considerar el enfoque “de la fuente a la rueda” (en inglés: from well to wheel) para contabilizar las emisiones totales de su producción y asegurar que se produce una reducción.
- Su viabilidad económica dependiendo del precio del petróleo¹³⁶.
- La importancia de aunar esfuerzos para el desarrollo de las tecnologías y los mercados de los biocarburantes.
- El impacto económico que pueden tener los biocarburantes en cuanto a creación de empleo (unos 144.000 puestos de trabajo en la UE).
- La necesidad de mantener una estrategia comercial equilibrada para combinar la disponibilidad de biocarburantes producidos a partir de diferentes cultivos.

Finalmente, el informe insiste en la necesidad de modificar la Directiva sobre biocarburantes para establecer unos requisitos mínimos y reforzar los objetivos comunitarios a la vista del creciente consumo energético para el transporte, como se observa en el Gráfico 8.

Gráfico 8.- Evolución del consumo de energía final de biocarburantes UE-27 en transporte por carretera



Fuente: EEA (2008)

¹³⁵ En esos momentos ya había saltado las alarmas en el ámbito internacional por la fuerte subida del precio de los alimentos.

¹³⁶ El umbral de rentabilidad se sitúa para el biodiesel entre 69-76€ y para el bioetanol entre 63-85€ según este informe.

3.1.1.1.4. Estrategia UE 2020

La CE presentó el 31 de enero de 2011 su comunicación: “Energía Renovable: progresando hacia el objetivo 2020”¹³⁷. El informe muestra que, con el horizonte 2020 por delante, los objetivos de políticas renovables pueden ser alcanzados y superados, siempre que los Estados miembros se doten de instrumentos financieros adecuados para desarrollar sus planes nacionales. La Comunicación propone intensificar la colaboración entre los Estados e integrar las energías renovables en el mercado común europeo. Estima que tales medidas supondrían un ahorro de 10.000 M€ cada año. La Comunicación recoge que, de acuerdo a las proyecciones de los Estados miembros, la energía procedente de las renovables crecerá mucho más rápidamente entre 2011-2020 de modo que en conjunto se duplicaría la tasa actual (5,1%). En relación con el transporte, parece que el objetivo global del 10% se alcanzará con biocombustibles de 1ª generación obtenidos siguiendo unos rigurosos y estrictos criterios de sostenibilidad. Son fundamentales los instrumentos fiscales como las exenciones que están aplicando 25 de los Estados miembros y los mecanismos de cooperación entre Estados. No obstante es preciso actuar prudentemente a la hora de replantearse estos instrumentos para no generar incertidumbre entre los inversores, especialmente en la coyuntura económica actual.

La Comunicación se basa en tres informes que examinan la financiación europea y nacional de las energías renovables, los avances más recientes en el desarrollo de las fuentes renovables y el uso de biocarburantes y otras energías renovables en el transporte, y por último la revisión del método de verificación por balance de masa que se aplica al régimen de sostenibilidad de los biocarburantes de acuerdo con la Directiva 2009/28/CE¹³⁸.

¹³⁷ Comunicación de la CE "Energía Renovable: Progresando hacia el objetivo 2020". COM (2011) 31 final de 31 de enero de 2011. No publicada en el DO.

¹³⁸ DO L 140 de 5.06.2009, pp. 16-62.

Tabla 10.- Objetivos nacionales en la UE: Porcentaje de energía obtenida de fuentes renovables en el consumo final bruto de energía. Comparativa 2005/2020

	Porcentaje de fuentes de energía renovable en el consumo final (2005)	Objetivo de porcentaje de fuentes de energía renovable en el consumo final (2020)
Alemania	5,8%	18%
Austria	23,3%	34%
Bélgica	2,2%	13%
Bulgaria	9,4%	16%
Chipre	2,9%	13%
Dinamarca	17,0%	30%
Eslovenia	16%	25%
Eslovaquia	6,7%	14%
Estonia	18%	25%
España	8,7%	20%
Finlandia	28,5%	38%
Francia	10,3%	23%
Grecia	6,9%	18%
Holanda	2,4%	14%
Hungría	4,3%	13%
Irlanda	3,1%	16%
Italia	5,2%	17%
Letonia	32,6%	40%
Lituania	15,0%	23%
Luxemburgo	0,9%	11%
Malta	0,0%	10%
Polonia	7,2%	15%
Portugal	20,5%	31%
Rumania	17,8%	24%
República Checa	6,1%	13%
Reino Unido	1,3%	15%
Suecia	39,8%	49%

Fuente: CE. DG Energía

3.1.1.1.5. Estrategias en España

- **Plan de Acción Nacional de Energías Renovables (PANER) 2010-2020**¹³⁹

Este Plan se ha elaborado en cumplimiento de la Directiva 2009/28/CE¹⁴⁰, relativa al fomento de la energía procedente de fuentes renovables, que establece que cada Estado miembro elaborará un Plan de Acción para conseguir los objetivos nacionales fijados en la misma.

Para España, estos objetivos se concretan en que las energías renovables representen el 20% del consumo final bruto de energía, con un porcentaje en el transporte del 10%, en el año 2020.

Hasta el 22 de junio de 2010 estuvo abierto un proceso de participación de empresas, asociaciones y ciudadanos para la elaboración del documento definitivo del PANER 2011–2020 que se remitió a la CE en agosto de ese mismo año.

Los ejes de la política energética que fija el PANER son:

1. Seguridad en el suministro.
2. Mejora de la competitividad.
3. Desarrollo sostenible a través del ahorro y la eficiencia energética.

España prevé que en 2020 la participación de las renovables en nuestro país será del 22,7% sobre la energía final y el 42,3% de la generación eléctrica.

El superávit podrá ser utilizado, a través de los mecanismos de flexibilidad previstos en la Directiva de renovables, para su transferencia a otros países europeos que resulten deficitarios en el cumplimiento de sus objetivos

- Estrategia Española de Cambio Climático y Energía Limpia. Horizonte 2007-2012-2020.

¹³⁹ Sustituye al Plan de Energías Renovables en España 2005-2010 que fijaba el objetivo del porcentaje del 12% de renovables para 2010, que a su vez era el objetivo de la Unión Europea establecido en el Libro Blanco de 1997, y el de un 5,75% de contenido energético en biocarburantes para 2010 que había fijado la Directiva 2003/30/CE.

¹⁴⁰ DO. L 140 de 5.06.2009, p. 16-62.

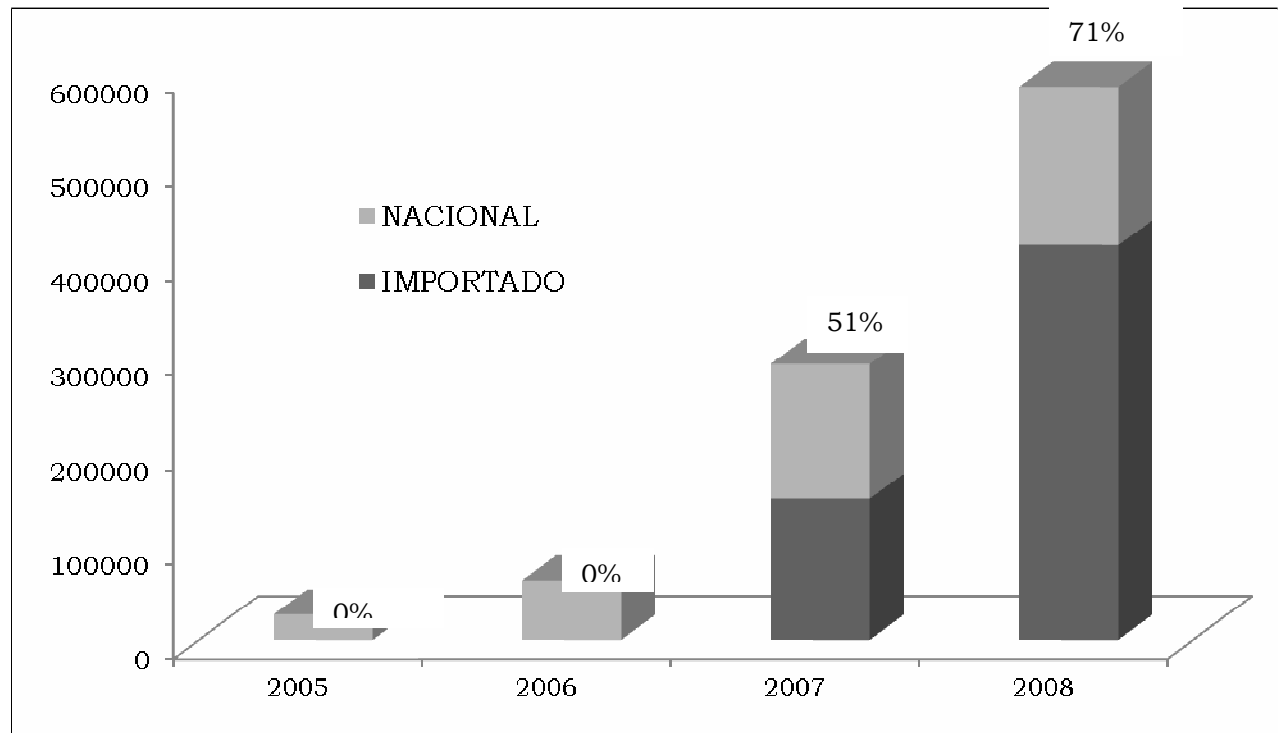
Esta Estrategia se ha elaborado por la necesidad de adoptar acciones adicionales urgentes para poder cumplir los compromisos de España en relación con la reducción de las emisiones de CO₂, especialmente tras la aprobación del Paquete Energético de la UE (triple 20). Asimismo, la Estrategia persigue el impulso de las energías renovables, el crecimiento económico y la protección ambiental.

- Situación actual de los biocombustibles en España

En el año 2008, la Asociación de Productores de Energías Renovables (APPA) comunicó que el sector del biodiesel se encontraba en una situación crítica, ya que la mitad de las 36 plantas abiertas en los últimos años estaban completamente paradas, tras haberse invertido más de 600 M€ y creado unos 1.000 empleos, mientras que la mayoría de las que seguían operando lo hacían muy por debajo de su capacidad. Como se observa en el Gráfico 9, las importaciones de biodiesel siguieron creciendo en 2008, hasta hacerse con el 71% del mercado nacional. Esto se debe a que el biodiesel que se consume mayoritariamente en España viene del extranjero, beneficiándose de subvenciones en EE.UU. y provocando dumping comercial¹⁴¹.

¹⁴¹ Práctica por la que, un País en este caso, establece un precio inferior para los bienes exportados que para los mismos bienes vendidos en el mercado interior. Entre empresas sería una práctica comercial que consiste en vender un bien a precios artificialmente bajos para desplazar a la competencia y ampliar el mercado.

Gráfico 9.- Evolución de las ventas de biodiesel en España por origen

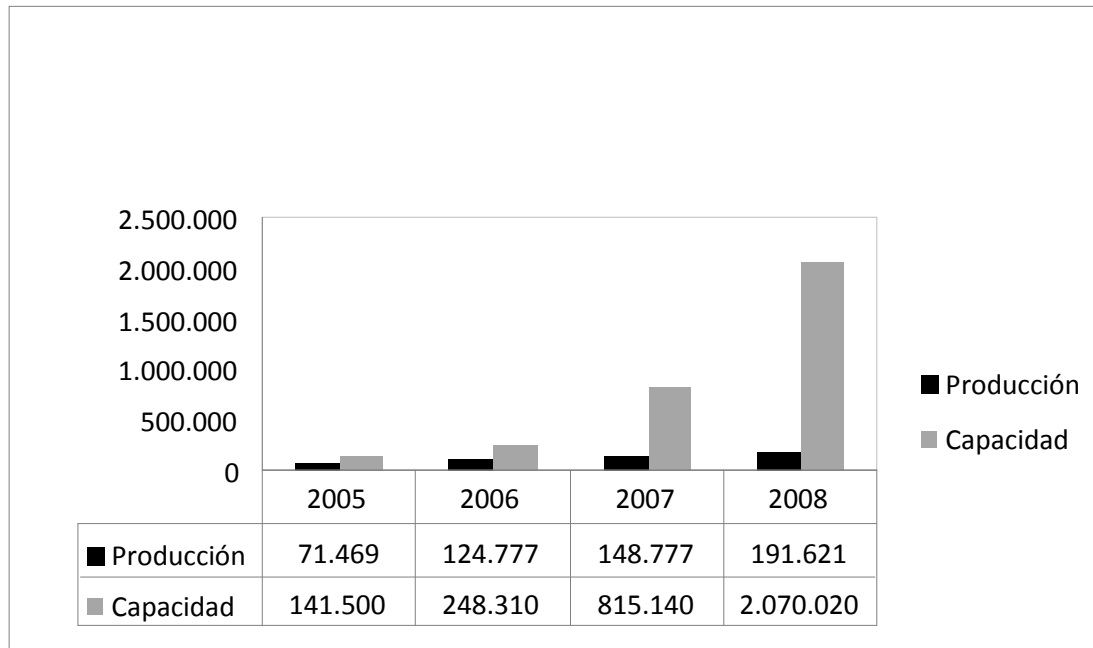


IMPORTADO	0	0	149720	418455
NACIONAL	26973	62909	142926	167973

Fuente: APPA Biocarburantes (2009)

APPA Biocarburantes (2009) propuso, por un lado, que la obligación de biocarburantes sólo pudiera cumplirse con aquellos fabricados en la UE, al tiempo que se adoptaban medidas adicionales para incrementar la demanda de biocarburante mediante mayores obligaciones, es decir sencillamente que se adoptaran medidas para asegurar la supervivencia de la industria nacional de biocarburantes, tal como se venía haciendo en países como Francia, Portugal o Italia. Por otro lado, pedían la adopción de otras medidas para aumentar la demanda de biocarburantes en mezclas etiquetadas (>5%), aplicando soluciones ya establecidas en otros países como, por ejemplo, la obligación de venta de mezclas etiquetadas en gasolineras.

Gráfico 10.- Evolución de la producción de biodiesel en España 2005-2008

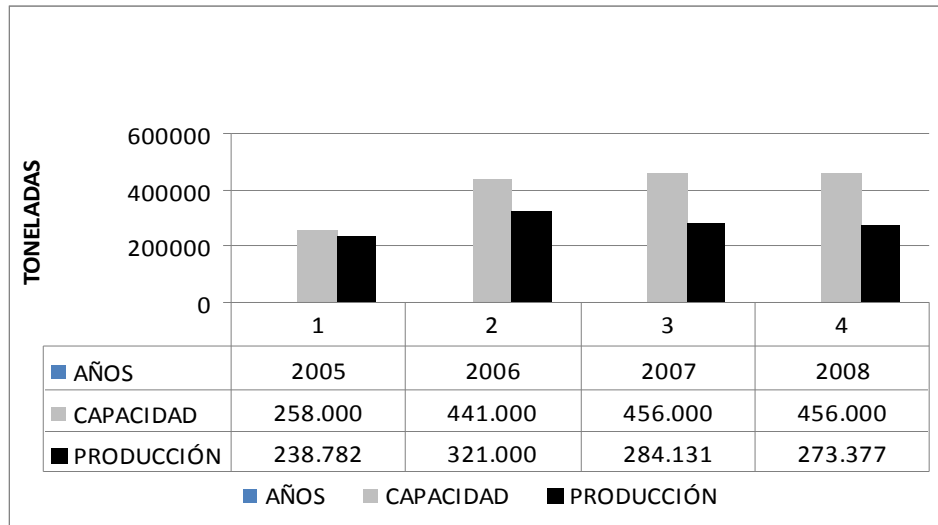


Fuente: APPA Biocarburantes (2009)

El Gráfico 10 muestra la gran diferencia existente entre la capacidad de producción de biodiesel en los últimos años en España, frente a la producción real, lo que está provocando un fuerte descontento en el sector.

Por lo que se refiere al bioetanol, ambos aspectos, capacidad y producción real han evolucionado de manera más uniforme como se observa en el Gráfico 11. Hace 6 años existían en España 4 plantas de producción de bioetanol con una capacidad total instalada de 456.000 t/año. En 2008 no entró en funcionamiento ninguna nueva planta ni las preexistentes incrementaron su capacidad productiva. La producción de bioetanol en España ha descendido en 2008 por segundo año consecutivo (-3,8%) situando el ratio producción/capacidad en el 60%, el más bajo de los últimos años.

Gráfico 11.- Evolución de la capacidad y producción de bioetanol en España (2005-2008)



Fuente: APPA Biocarburantes (2009)

Por todo ello, APPA Biocarburantes valoró positivamente la adopción por la CE de aranceles, a partir del 13 de marzo de 2009, contra el biodiesel de los EE.UU. subvencionado en origen (300 dólares/tn) y con dumping, que entró en la UE desde 2007, vendiéndose por debajo de su precio de origen, aunque estas medidas tenían carácter provisional (4 meses) y la idea era que un mes antes de expirar, la CE debía presentar al Consejo una propuesta de medidas definitivas para un periodo de 5 años. Se solicitaba además la posible extensión de las medidas a otros países si se confirmaba que el biodiesel procedía en cualquier caso de EE.UU. (APPAINFO30, 2010).

Desgraciadamente la situación no ha mejorado en 2011 ya que tras las medidas anti-dumping adoptadas en contra del biodiesel procedente de los EE.UU., se encuentra parada el 85% de la capacidad instalada en España (4,3 Mt en un total de 49 plantas), como consecuencia de la competencia del biodiesel procedente de Argentina e Indonesia, que representan ya el 60% del mercado español de este biocarburante. En junio de 2011 el Presidente del Gobierno Español decidió paralizar la aprobación final de la Orden de asignación de cantidades de biodiesel, para no perjudicar los intereses

españoles en Argentina, lo que va a provocar un enorme malestar en este sector energético en el ámbito nacional (APPA, 2011).

3.1.1.1.6. Empresas y Tecnologías avanzadas en la UE y España.

De acuerdo con los informes emitidos por la FAO (2008), los principales productores de bioetanol en el mundo son Brasil y EE.UU. mientras que el principal productor de biodiesel es la UE (FAO, 2008).

En 1990, se creó la Asociación Europea de la Biomasa (AEBIOM)¹⁴² Esta Asociación es miembro del Consejo Europeo de Energía Renovable y ejerce su influencia mediante informes que remite a la CE para las negociaciones de las Directivas comunitarias. Representa a más de 30 asociaciones y a 80 compañías europeas.

De manera más específica, en 1997 se creó el EEB¹⁴³ que es una Su objetivo lógico es promover el uso de biodiesel principalmente en el territorio europeo. Para lograr su cometido:

- Representa a sus miembros en las instituciones de la UE y de otras Organizaciones internacionales.
- Promueve actividades de investigación científica, tecnológica, económica y legal en relación con estos productos.
- Recoge, analiza y disemina información, y
- Estudia los problemas que afronta la industria del biodiesel y sugiere soluciones en diferentes ámbitos (político, jurídico y económico)¹⁴⁴.

En la Tabla 11 figuran las principales empresas españolas que lo componen.

¹⁴² Organización sin ánimo de lucro que tiene por objeto promover el desarrollo sostenible del sector bioenergético en el ámbito de la UE. Disponible en <http://www.aebiom.org/?cat=3>

¹⁴³ Organización sin ánimo de lucro que reúne a las principales empresas europeas productoras de este combustible (en la actualidad más de 70).

¹⁴⁴ Disponible en <http://www.ebb-eu.org/>.

Tabla 11.- Consejo Europeo del Biodiesel

BIONET Europa
BioNorte S.A.
ACCIONA Biocombustibles, S.A
Biocombustibles
Green Fuel
BioArag
Stocks Del Valles SA
BioOils Energy S.L.
APPA

Fuente: EBB (2010).

Un grupo industrial que no se dedica directamente a la producción de biocarburantes sino a la promoción, estudio, gestión, construcción, montaje, explotación, creación y puesta en marcha de plantas industriales para la fabricación de los mismos es BIOCARBURANTES EUROPA 2025 S.L.

En cuanto a la producción de bioetanol, podemos considerar que la principal empresa es el grupo español ABENGOA¹⁴⁵, que además tiene ámbito multinacional. Es el primer productor europeo de bioetanol y el único productor global que cuenta también con presencia en los mercados de EE.UU. y Brasil¹⁴⁶.

Las empresas españolas REPSOL YPF y ACCIONA firmaron en marzo de 2006 un acuerdo para la producción de biodiesel con una inversión de más de 300 M€ para construir hasta 6 plantas y producir más de 1 Mt/año de este

¹⁴⁵ ABENGOA es una empresa tecnológica, presente en más de 70 países, que aplica soluciones innovadoras para el desarrollo sostenible en los sectores de infraestructuras, medio ambiente y energía. La cartera de productos de Abengoa incluye energía solar y producción de bioetanol, tecnologías del hidrógeno, construcción de instalaciones de energía renovable, desalación de agua, reciclaje de residuos industriales, así como consultoría y desarrollo de sistemas en el área de tecnologías de la información. ABENGOA se estructura en 5 grupos de negocio, cada uno especializado en un área diferente; cuenta, además, con la Fundación FOCUS-ABENGOA y un área corporativa. La empresa lleva más de una década trabajando en la consecución de soluciones que permitan mitigar los efectos del calentamiento global. Para ello crearon ABENGOA BIOENERGÍA, grupo de negocio de la misma empresa.

¹⁴⁶ Disponible en www.abengoabioenergía.com.

combustible. El acuerdo ha sido el de mayor alcance en el mundo en el ámbito del biodiesel, ya que su objetivo era alcanzar casi la mitad del objetivo de España en materia de biocombustibles, contemplado en el Plan Nacional de Energías Renovables 2005-2010. Se basaba en un "amplio trabajo conjunto de desarrollo tecnológico, encaminado a optimizar la producción y utilización del biodiesel".

El proyecto preveía la instalación de plantas de producción de biodiesel en las proximidades de las refinerías del Grupo REPSOL YPF en España, con una capacidad, cada una, superior a las 200.000 t/año. También incluía la participación de ACCIONA en la construcción de otra planta en León. La construcción de estas plantas, suponía la creación de unos 200 puestos de trabajo directo y más de 5.000 puestos de trabajo indirecto. La mayor parte de estos empleos provendrían del sector agrícola español, que podría dedicar entre 200.000 y 300.000 ha de regadío a la producción de la materia prima necesaria (colza y girasol) para el abastecimiento de las plantas. Se estima que las producciones previstas en este acuerdo debían evitar en 2006 la emisión a la atmósfera de unos 3 Mt de CO₂, pero desgraciadamente el acuerdo entre ambas empresas se rompió en octubre de 2007¹⁴⁷.

Tanto la Directiva Comunitaria 2003/30/CE¹⁴⁸ de fomento de los biocarburantes, como el Plan Español de Energías Renovables (IDAE, 2005) planteaban escenarios para el año 2010 en los que se fijaban objetivos ambiciosos de participación de los biocombustibles en el abastecimiento de recursos energéticos al sector de la automoción.

En concreto, el Plan Español de Energías Renovables sitúa dicho objetivo de participación de los biocarburantes en el 5,83%, expresado en términos energéticos, sobre el consumo total de combustibles para automoción.

REPSOL-YPF subraya su apuesta desde hace años por la reducción de los GEI, disminuyendo, al mismo tiempo, la dependencia energética de España.

¹⁴⁷ Disponible en: www.biodieselspain.com y www.crisisenergetica.org/article.php?story.

¹⁴⁸ DO. L 123 de 17.05.2003 pp. 42-49

En la línea de apostar por los biocarburantes como forma esencial para contribuir a paliar las consecuencias del efecto invernadero, desde el año 2000, fecha en la que tomó la decisión de modificar sus instalaciones de producción de MTBE, ha utilizado bioetanol en sustitución del metanol empleado hasta entonces. El ETBE obtenido se incorpora a las gasolinas combinando los estándares de calidad más exigentes con la utilización de carburantes renovables.

Gracias a la adición de ETBE, REPSOL YPF emplea cerca de 140.000 t/año de bioetanol, lo que la convierte en el líder europeo en la utilización de bioetanol en gasolinas. Por sí sola, incorpora más bioetanol en sus gasolinas que los países europeos líderes en esta materia¹⁴⁹. Por otro lado, en línea con sus planes estratégicos, REPSOL YPF lidera una propuesta de proyecto de investigación CENIT, para el desarrollo del biodiesel en España, en el que participan 16 empresas y más de 20 instituciones (EUROPA PRESS. Noticias de Empresas)¹⁵⁰.

ACCIONA, por su parte, además de estar presente en el ámbito de las energías renovables para producción de electricidad, como son la eólica, minihidráulica, biomasa y solar, trabaja desde el año 2000 en la obtención de biodiesel a partir de aceites vegetales de primer uso.

Este biodiesel, que cumple con todos los parámetros de calidad de la normativa europea (EN -14214), se produce actualmente en una planta en Navarra. Dicha planta es considerada una de las más avanzadas tecnológicamente, por procesar distintos tipos diferentes de aceites para la producción del biodiesel. Las pruebas de utilización de este producto en distintos tipos de vehículos han revelado rendimientos y consumos equiparables a los del gasóleo, además de una sustancial reducción de emisiones contaminantes a la atmósfera.

¹⁴⁹ Una vez agotada la vía del ETBE, la compañía utiliza biodiesel en la fabricación de gasóleo como la forma más adecuada para la implantación de la Directiva Comunitaria sobre utilización de biocarburantes.

¹⁵⁰ <http://www.cinco dias.com/articulo/empresas/Acciona-Repsol-unen-ser-lideres-biodiesel/>

Esta compañía desarrolla también proyectos de investigación en el ámbito agrícola sobre cultivos energéticos de cara a una mejora de la productividad de los mismos y de su balance energético y medioambiental, e impulsa la extensión de los cultivos de colza para producción de biodiesel. La planta estaba previsto que tuviera una producción de 100.000 tn/año y se debía surtir con semillas o aceites de colza y girasol, procedentes de la agricultura de la zona, así como con importación de aceite crudo (EUROPA PRESS)¹⁵¹.

3.1.2. MARCO REGULADOR EN LA UE Y ESPAÑA

3.1.2.1. Fomento de los biocarburantes en la UE

3.1.2.1.1. Aplicación de la Directiva 2003/30/CE

Los objetivos más importantes de la UE en materia energética son: (1) reducir la dependencia de la utilización de combustibles derivados del petróleo, que resulta preocupante desde el punto de vista del medio ambiente y de la seguridad del abastecimiento; (2) promover las energías renovables y (3) fomentar el uso de biocarburantes para cumplir los objetivos fijados en materia de cambio climático a través del Protocolo de Kyoto.

Estos objetivos se contienen en la Directiva 2003/30/CE¹⁵² que pide a los Estados miembros la adopción de las medidas necesarias para que, a partir de 2005, los biocarburantes representen una proporción mínima de los combustibles comercializados en su territorio. Como valores indicativos fija alcanzar al menos el 2%, calculado sobre la base del contenido energético de toda la gasolina y gasóleo comercializados, y del 5,75% para el 2010. Estos valores constituyen un compromiso moral para los Estados miembros pero en ningún caso una obligación jurídica. Esta norma comunitaria, en su preámbulo propone el fomento del uso de los biocarburantes considerando que su aplicación dará lugar a nuevas oportunidades de desarrollo rural sostenible. No obstante, especifica que esto deberá ir acompañado de un análisis detallado de las repercusiones socio-económicas y ambientales.

¹⁵¹ <http://www.cincodias.com/articulo/empresas/Acciona-Repsol-unen-ser-lideres-biodiesel/>

¹⁵² DO. L 123 de 17.05.2003 pp. 42-49.

En cuanto a la información al público y puesto que no todas las mezclas se pueden utilizar en cualquier vehículo, también se reconoce la importancia de otorgar un etiquetado específico en los puntos de venta, en el caso de la comercialización de derivados del petróleo que contengan más del 5% de biocarburantes.

La Directiva 2003/30/CE¹⁵³ fija que a más tardar el 1 de julio de cada año, los Estados miembros deben presentar un informe a la CE sobre las medidas adoptadas para fomentar el uso de biocarburantes u otros combustibles renovables y las ventas totales de combustibles para transporte comercializados el año anterior.

Asimismo el artículo 4 fija la “disposición de revisión” por la que la CE debe presentar un informe al Parlamento Europeo y al Consejo, antes del 31 de diciembre de 2006, sobre los progresos realizados en los Estados miembros en cuanto al uso de biocarburantes para valorar la necesidad de nuevas propuestas legislativas¹⁵⁴.

A la vista del informe presentado a las Instituciones Europeas y debido a que los avances registrados por los Estados miembros eran parciales y muy desiguales¹⁵⁵, la CE presentó una Comunicación el 10 de enero de 2007, “Programa de trabajo de la energía renovable”¹⁵⁶, en la que se planteaba el objetivo de alcanzar el 20% de energía procedente de fuentes renovables para el año 2020, así como una cuota del 10% de estas energías para el transporte. Esta propuesta fue plenamente asumida por el Consejo Europeo de marzo de 2007 que confirmó el compromiso especificando el objetivo para todos los Estados miembros del 10% como porcentaje de biocarburantes para el 2020.

Posteriormente y en relación con los biocarburantes, el Consejo Europeo de marzo de 2008 consideró esencial desarrollar y cumplir criterios de sostenibilidad eficaces para su producción y así asegurar su disponibilidad

¹⁵³ DO L 123 de 17.05.2003 pp. 42-49

¹⁵⁴ A esta obligación responde la presentación por parte de la CE en 2007 del Informe sobre los Biocarburantes reseñado en el punto 3.1.1.1.3.

¹⁵⁵ La ausencia de objetivos vinculantes y las lagunas del marco normativo comunitario en el ámbito de las energías renovables sólo permitieron verdaderos progresos en algunos Estados cuya determinación fue más fuerte que los cambios en las prioridades políticas.

¹⁵⁶ COM (2006) 848 final de 10 de enero de 2007. No Publicada en el DO.

comercial. En junio de ese mismo año, el Consejo Europeo alentó la fabricación de biocarburantes de 2ª generación y necesidad de evaluar las posibles repercusiones en los productos alimenticios agrícolas.

Por su parte, el Parlamento Europeo solicitó en 2007 que se fijaran objetivos nacionales para proporcionar seguridad a los inversores y promover el desarrollo permanente de tecnologías para obtener energía a partir de fuentes renovables. Para garantizar la consecución de estos objetivos nacionales, la CE estableció que el punto de referencia sería el año 2005, por tratarse del último año para el que existen datos fidedignos. La necesidad de recoger en una norma los nuevos planteamientos energéticos llevó a la adopción de la Directiva 2009/28/CE de 23 de abril¹⁵⁷.

La Comunicación de la CE de 31 de enero de 2011¹⁵⁸ se acompañó de varios documentos de trabajo en los que se revisaban y actualizaban, a la luz de los avances en la investigación sobre nuevas fuentes de biocarburantes y de los progresos en la utilización de éstos en el transporte, los resultados de las investigaciones más recientes. Uno de éstos, es el Documento de Trabajo de la CE sobre nuevas fuentes y evaluación técnica de biocarburantes¹⁵⁹. El documento analiza el avance que se ha producido en el uso de biocarburantes en el transporte en la UE como figura en la Tabla 12.

Tabla 12.- Evolución en la UE del porcentaje de renovables en el transporte

Año	Porcentaje
2007	2,6%
2008	3,5%
2009	4,0%

Fuente: CE (2011)

¹⁵⁷ DO. L 140 de 5.06.2009, pp. 16-62.

¹⁵⁸ COM (2011) 31 final de 31 de enero de 2011. No publicada en el DO.

¹⁵⁹ Documento de trabajo de la CE sobre los progresos recientes en el desarrollo de fuentes de energía renovables y evaluación técnica del uso de biocombustibles y otros combustibles renovables en el transporte de acuerdo con el Art. 3 de la Directiva 2001/77/CE y el Art. 4(2) de la Directiva 2003/30/EC. Documento de acompañamiento a la Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo y al Consejo de 31 de enero de 2011: Energía Renovables: progresando hacia la estrategia 2020, COM (2011) 31 final.

No obstante sigue preocupando el elevado % de importaciones de biodiesel (25% en 2008) en detrimento del producto interno. En 2008 se consumieron en la UE 10,1 Mt de biocarburantes correspondiendo el 81% al biodiesel y 18% al bioetanol. Es interesante observar que esa tendencia se redujo en Alemania que es el principal productor cuando se retiraron en 2008 las exenciones a las tasas existentes. Se supone que la utilización de biocombustibles ahorró entre el 42-49% de GEI en relación con los combustibles fósiles. No obstante, se observa que el comportamiento del biodiesel en cuanto a los contaminantes que miden la calidad del aire es similar o incluso peor que el diesel convencional.

En cuanto a la producción, se observa que está desigualmente distribuida e infrautilizada (40%).

3.1.2.1.2. Aplicación de la Directiva 2009/28/CE

La necesidad de recoger en una norma los nuevos adelantos en investigación y la revisión de objetivo estratégicos sobre energías renovables llevó a la adopción por parte del Consejo y el Parlamento Europeo de la Directiva 2009/28/CE¹⁶⁰.

Un aspecto importante del nuevo enfoque político es que la CE reconoce que, para alcanzar sus objetivos energéticos, es precisa la implicación de las regiones y las Autoridades locales¹⁶¹.

Con estos antecedentes, esta norma establece un marco común para el fomento de la energía procedente de fuentes renovables, fija objetivos

¹⁶⁰ DO. L 140 de 5.06.2009, pp. 16-62.

¹⁶¹ La implicación de las ciudades para lograr los objetivos en materia de cambio climático es tan importante para la CE que en el año 2008 puso en marcha una iniciativa denominada el Pacto de los Alcaldes. El gran interés de esta iniciativa es que por primera vez la CE crea un mecanismo para su relación directa con las ciudades, cuando habitualmente solo se relacionado con los Estados. dada la importancia de estas en el cumplimiento de los objetivos de cambio climático, y que desde el año 2007 el 50% de la población mundial vive en ciudades. Por ello se considera que sus políticas energéticas son fundamentales para el logro de dichos objetivos.

Supone un compromiso voluntario y unilateral de las ciudades firmantes para ir más allá de los objetivos de la política energética de la UE, en cuanto a la reducción de emisiones de CO₂ mediante una mayor eficiencia energética y la producción y empleo de energía más limpia. Hasta la fecha ha sido suscrito por 2147 ciudades de toda la UE (nov. 2010).

nacionales obligatorios con el fin de alcanzar el objetivo de la UE del 20 % de energías renovables de aquí a 2020, establece normas relativas a transferencias estadísticas entre Estados miembros y define criterios de sostenibilidad para los biocarburantes.

La Directiva 2009/28/CE¹⁶² impone a los Estados miembros la consecución, de aquí a 2020, de unos objetivos de energía producida a partir de fuentes renovables en los sectores de electricidad, calefacción y refrigeración, y transporte. En este último sector, los Estados miembros deben llegar a un consumo de al menos el 10 % de energías renovables en 2020.

Además establece un objetivo global nacional en relación con los biocarburantes de forma que pide a cada Estado miembro que asegure que la cuota de energía procedente de fuentes renovables en todos los tipos de transporte para el 2020, sea como mínimo equivalente al 10% de su consumo final de energía en el transporte. A efectos del cálculo de la cantidad total de energía consumida en el transporte, se consideran gasolina, diesel, y biocarburantes utilizados en transporte por carretera y ferrocarril y la electricidad.

Asimismo exige a cada Estado miembro la presentación de un Plan de Acción Nacional en materia de energía renovable a más tardar el 30 de junio de 2010¹⁶³. El Plan deberá estar precedido de una estimación del exceso de energía procedente de renovables que podría transferirse a otro Estado miembro o de la demanda que no se cubriría con los objetivos nacionales.

Uno de los aspectos más importantes es la exigencia de unos criterios de sostenibilidad medioambiental¹⁶⁴ que se tendrán en cuenta a la hora de (1)

¹⁶² DO L 140 de 5.06.2009, pp. 16-62

¹⁶³ El PANER fue aprobado por el Gobierno Español en agosto de 2010.

¹⁶⁴ La reducción de emisiones de GEI derivada del uso de biocarburantes, será de un 35%. Para el 2017, deberá ser del 50% y para el 2018, como mínimo del 60% en aquellas instalaciones que hayan comenzado su actividad a partir del 1 de enero de 2017. Los biocarburantes no podrán producirse a partir de materias primas obtenidas en tierras de alto valor ecológico como bosques primarios, zonas especialmente designadas, prados y pastizales de alta diversidad.

- Los biocarburantes no podrán producirse a partir de materias primas obtenidas en tierras con elevadas reservas de carbono como humedales, zonas arboladas continuas, ni tierras con una extensión superior a una hectárea, con árboles de una altura

evaluar el cumplimiento de los requisitos de esta Directiva; (2) evaluar el cumplimiento de los objetivos nacionales, y (3) para optar a una ayuda financiera al consumo de biocarburantes.

En relación con estos objetivos define dos conceptos importantes: (1) valor real¹⁶⁵ y (2) valor típico¹⁶⁶

Se incorpora también un marco para la comprobación del respeto de los criterios de sostenibilidad medioambiental basado en la utilización por los agentes económicos de un sistema de balance de masa y en la transmisión de información fiable por estos agentes al Estado miembro que la solicite. Si la CE así lo decide, los Acuerdos bilaterales o multilaterales celebrados entre la UE y países terceros podrán servir de prueba del respeto de los criterios de sostenibilidad medioambiental.

También se recoge (Art.17.7)¹⁶⁷ la preocupación de la UE por la repercusiones sociales de la producción de biocarburantes, mediante la obligación de la CE de informar al Parlamento Europeo y al Consejo, cada dos años, sobre las consecuencias para países terceros de la política europea sobre biocarburantes, comenzando en el 2012.

superior a cinco metros y una cubierta de copas de entre el 10 % y el 30 %, o con árboles que pueden alcanzar dichos límites *in situ*.

- Los biocarburantes y biolíquidos no provendrán de materias primas extraídas de tierras que, a enero de 2008, fueran turberas, a no ser que se aporten pruebas de que el cultivo y la recolección de esta materia prima no implican el drenaje de suelos no drenados con anterioridad.
- Las materias primas agrícolas cultivadas en la Comunidad y utilizadas para la producción de biocarburantes y biolíquidos, se obtendrán de conformidad con los requisitos y normas de los regímenes de ayuda directa a los agricultores en el marco de la política agrícola común, y de conformidad con los requisitos mínimos de las buenas condiciones agrarias y medioambientales

¹⁶⁵ “Valor real” es la reducción de emisiones de GEI en algunas fases o en todas las fases de un proceso de producción específico de biocarburante calculada según los métodos establecidos en el anexo V parte C de la Directiva 2009/28/CE.

¹⁶⁶ “Valor típico” es la estimación de reducción de las emisiones representativas de gases de efecto invernadero en un proceso particular de producción de biocarburante.

¹⁶⁷ Art.17.7: La CE informará cada dos años al Parlamento Europeo y al Consejo, en relación con los terceros países y los Estados miembros que constituyan una fuente importante de biocarburantes o de materias primas para biocarburantes consumidos en la Comunidad y que tratará sobre las medidas nacionales adoptadas para cumplir los criterios de sostenibilidad establecidos en los apartados 2 a 5, y para proteger el suelo, el agua y el aire. El primer informe se presentará en 2012.

La Directiva 2009/28/CE¹⁶⁸ contiene disposiciones cuya finalidad es agilizar los procedimientos administrativos y las reglamentaciones nacionales y hacerlos más claros, objetivos, transparentes y no discriminatorios. Debe ponerse la información apropiada a disposición de los consumidores, empresarios, instaladores, arquitectos y proveedores.

Los gestores de redes de transporte deben garantizar el transporte a partir de fuentes renovables. Como máximo el 31 de diciembre de 2011, y posteriormente cada 2 años, los Estados miembros deben redactar un informe sobre el fomento y el uso de la energía procedente de fuentes renovables, a partir del cual la CE redactará su informe de seguimiento y análisis.

En relación con los biocarburantes, el informe deberá contener información sobre:

- El desarrollo y la cuota de biocarburantes derivados de desechos, residuos, materias celulósicas no alimentarias y materias lignocelulósicas.
- El impacto estimado de la producción de biocarburantes y biolíquidos en la biodiversidad, los recursos hídricos, la calidad del agua y la calidad del suelo en el Estado miembro.
- A la hora de calcular la reducción neta de las emisiones de GEI resultante del uso de biocarburantes, el Estado miembro podrá utilizar, a efectos de los informes mencionados en el apartado 1, los valores típicos que figuran en las partes A y B del Anexo V.

3.1.2.1.3. Especificaciones técnicas para los biocarburantes

La UE ha regulado el contenido de los productos contaminantes que poseen los combustibles para asegurar la calidad de los mismos, facilitar el trabajo de

¹⁶⁸ DO. L 140 de 5.06.2009, pp. 16-62.

los operadores económicos y permitir a los mercados adaptar su producción¹⁶⁹.

Azufre: La Directiva 2003/17/CE¹⁷⁰ requiere a los Estados miembros que se aseguren de que la gasolina y el diesel que se comercializan en su territorio, contendrán un máximo de 10 mg/kg de azufre desde el 1 de enero de 2005, si bien concede un período hasta el 1 de enero de 2009 para el pleno cumplimiento de esta disposición. Además, contempla una revisión de las disposiciones de la Directiva 98/70/CE¹⁷¹ de “Calidad de los combustibles para el transporte”, para tener en cuenta la nueva legislación comunitaria sobre calidad del aire y los objetivos medioambientales relacionados, tales como la necesidad de fomentar combustibles alternativos, incluidos los biocarburantes y el desarrollo de nuevas tecnologías de disminución de la contaminación y confirmar o no la fecha de la plena introducción del gasóleo con un máximo de contenido en azufre de 10 mg/kg para asegurarse de que no se produce ningún aumento global de las emisiones de GEI. Asimismo alienta a la realización de un estudio exhaustivo de los combustibles alternativos, incluidos los combustibles de origen biológico, que podría implicar la necesidad de legislación específica.

Plomo: La Directiva 98/70/CE¹⁷² de “Calidad de los combustibles para el transporte” establece que: *No más tarde del 1 de enero de 2000, los Estados miembros prohibirán la comercialización de las gasolinas con plomo en su territorio.* Solamente se han permitido excepciones a esta situación hasta el 1 de enero de 2005 para evitar problemas socioeconómicos, con un contenido máximo de plomo de 0,15 g/l.

¹⁶⁹ Normas Euro para turismos y vehículos ligeros

¹⁷⁰ Directiva 2003/17/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 3 de marzo, que modifica la Directiva 98/70/CE sobre la calidad de los combustibles gasolina y diesel. DO L 76 de 22.03.2003, pp.10-19.

¹⁷¹ Directiva 98/70/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 13 de octubre de 1998 relativa a la calidad de la gasolina y el gasóleo y por la que se modifica la Directiva 93/12/CEE del Consejo. DO L 350 de 28.12.1998 pp. 58-68.

¹⁷² DO L 350 de 28.12.1998, pp. 58-68.

Gases efecto invernadero (GEI): La UE ha introducido un mecanismo para controlar y reducir las emisiones de GEI de la gasolina, el diesel y el gasóleo a través de la Directiva 2009/30/CE.¹⁷³

La CE se ha comprometido a alcanzar los objetivos de reducción de emisiones de GEI correspondientes al período 2008-2012 de conformidad con el Protocolo de Kioto. Además se ha comprometido a reducir el 30% las emisiones de GEI para 2020 en el contexto de un acuerdo global y a una reducción unilateral del 20 %. Es necesario que todos los sectores contribuyan a la consecución de estos objetivos y especialmente el sector del transporte por carretera que tiene una importante contribución. Para ello, se establece un mecanismo por el que se exija a los proveedores de combustible que notifiquen las emisiones de GEI durante el ciclo de vida de los combustibles que suministran y las reduzcan a partir de 2011. La metodología de cálculo del efecto de las emisiones en el ciclo de vida de los biocarburantes debe ser idéntica a la establecida a efectos del cálculo de los efectos de los GEI de la Directiva 2009/28/CE¹⁷⁴.

Los proveedores deben reducir gradualmente, a más tardar el 31 de diciembre de 2020, las emisiones de GEI durante el ciclo de vida de los combustibles hasta el 10% por unidad de energía del combustible o por energía suministrada.

Una revisión de las especificaciones técnicas se incluye en un documento de acompañamiento a la Comunicación de la CE al Parlamento y al Consejo de 31 de enero de 2011: Energía Renovables: progresando hacia la estrategia 2020¹⁷⁵. Este documento de acompañamiento, entre otros, lleva a cabo una

¹⁷³ Directiva 2009/30/CE de 23 de abril por la que se modifica la Directiva 98/70/CE en relación con las especificaciones de la gasolina, el diésel y el gasóleo, se introduce un mecanismo para controlar y se modifica la Directiva 1999/32/CE del Consejo en relación con las especificaciones del combustible utilizado por los buques de navegación interior y se deroga la Directiva 93/12/CEE. DO L 140 de 5.06.2009, pp. 88-113.

¹⁷⁴ DO L 140 de 5.06.2009, pp. 16-62.

¹⁷⁵ Progresos recientes en el desarrollo de Fuentes de energía renovables y evaluación técnica del uso de biocarburantes y otros combustibles renovables en el transporte de acuerdo con el Art. 3 de la Directiva 2001/77/CE y Art. 4.2 de la Directiva 2003/30/CE, SEC (2011) 130 final. Documento de acompañamiento a la Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo y al Consejo de 31 de enero de 2011: Energía Renovables: progresando hacia la estrategia 2020, COM (2011) 31 final.

revisión de la aplicación de las disposiciones para el cálculo del ahorro de emisiones de GEI obtenido gracias al uso total de biocarburantes tanto producidos internamente como importados y los valores típicos aplicados a cada cultivo. Para ello analiza que los cultivos más utilizados son colza (alrededor del 60%) producido internamente y aceite de soja (14-24%) y de palma (5-11%) procedentes de importaciones. En el caso del bioetanol se produce a partir de trigo y remolacha cultivados en la UE. Para los datos de consumo de 2008 (3,5%) que suponen 10,1 Mt esta cantidad traducida a emisiones, a nivel agregado supone un ahorro del 49% (17,4 Mt CO₂eq.) y por el método de sustitución del 43% (15 Mt CO₂-eq).

La producción de biocarburantes debe ser sostenible. Los biocarburantes utilizados para cumplir los objetivos de reducción de las emisiones de GEI fijados en la Directiva 2009/28/CE¹⁷⁶ deben por tanto cumplir obligatoriamente los criterios de sostenibilidad. La creciente demanda mundial de biocarburantes y los incentivos previstos para su uso, no deben tener como efecto alentar la destrucción de suelos ricos en biodiversidad. Deben preservarse estos recursos agotables, cuyo valor para toda la humanidad se reconoce en diversos instrumentos internacionales.

Los criterios de sostenibilidad solamente serán eficaces si dan lugar a cambios en el comportamiento de los agentes del mercado. Estos cambios solo se producirán si se pueden vender los biocarburantes que cumplen dichos criterios a un precio más elevado, en comparación con los productos que no los cumplen

Así, los objetivos de la Directiva de energías renovables son, en particular, garantizar un mercado único de los combustibles utilizados para el transporte por carretera y para las máquinas móviles no de carretera, y el cumplimiento de los niveles mínimos de protección ambiental de la utilización de esos combustibles. Como estos objetivos no pueden ser alcanzados de manera

¹⁷⁶ DO L 140 de 5.06.2009, pp. 16-62.

suficiente por los Estados miembros y pueden lograrse mejor a nivel comunitario, la CE adopta para ello el principio de subsidiariedad¹⁷⁷.

La UE ha introducido el régimen de sostenibilidad vinculante más completo y avanzado del mundo. Este se aplica por igual a los biocarburantes y biolíquidos producidos en los Países miembros o en países terceros¹⁷⁸.

Con objeto de facilitar el trabajo a los operadores económicos, la CE ha adoptado en 2010 una Comunicación¹⁷⁹ donde se recogen los dos instrumentos destinados a reducir la carga administrativa de los agentes económicos:

1. la opción de acogerse a «regímenes voluntarios» o «acuerdos bilaterales y multilaterales» reconocidos para demostrar el cumplimiento de algunos o de todos los criterios de sostenibilidad; y
2. la opción de acogerse a los «valores por defecto» que establece la Directiva para demostrar el cumplimiento del criterio de sostenibilidad en materia de reducción de las emisiones de GEI.

Asimismo, la CE ha adoptado una 2ª Comunicación¹⁸⁰ sobre las reglas de contabilización que se aplican a los biocarburantes.

Estas dos Comunicaciones tienen por objeto regular los siguientes aspectos:

¹⁷⁷ El principio de subsidiariedad, en su definición más amplia, dispone que un asunto debe ser resuelto por la autoridad (normativa, política o económica) más próxima al objeto del problema. Es uno de los principios sobre los que se sustenta la UE, según quedó establecido por el Tratado de Maastricht. Este principio tiene sus raíces teóricas en la doctrina social de la Iglesia católica, pero en su aplicación se ha independizado en gran parte de ella y es empleado en el Derecho para justificar la abstención de regulación. El principio de subsidiariedad se basa en el máximo respeto al derecho de autodeterminación o a la libre determinación de todos y cada uno de los miembros de una estructura social.

¹⁷⁸ Los criterios de sostenibilidad para biocarburantes figuran en la Directiva 2009/28/CE (Art.17) y en la Directiva 98/70/CE (Art. 7ter).

¹⁷⁹ Comunicación de la CE (2010/C 160/01) sobre los regímenes voluntarios y valores por defecto del régimen de sostenibilidad de la UE para los biocarburantes y biolíquidos, de 10 de junio de 2010. DO C 160/1 de 19.06.2010, pp.1-7.

¹⁸⁰ Comunicación de la CE (2010/C 160/02) sobre la aplicación práctica del régimen de sostenibilidad de la UE para los biocarburantes y biolíquidos y sobre las reglas de contabilización aplicables a los Biocarburantes, de 10 de junio de 2010¹⁸⁰ DO. C 160/8 de 19.06.2010, pp. 8-16.

- *Certificado de biocarburante sostenible*: la CE alienta al sector energético, a los Gobiernos y a las ONG a que fijen regímenes de certificación voluntarios para los biocarburantes, tras lo que evaluará su fiabilidad y su protección frente al fraude en las auditorías. Los certificados garantizan que todos los biocarburantes vendidos con esa etiqueta son sostenibles y han sido producidos con arreglo a los criterios recogidos en la Directiva 2009/28/CE¹⁸¹. Todos los regímenes deben contar con auditores independientes que inspeccionen la totalidad de la cadena de producción, desde el agricultor al proveedor de carburante, pasando por los agentes comerciales.
- *Protección de la naturaleza*: la CE explica muy claramente los tipos de tierras que no pueden destinarse a la producción de biocarburantes, como los bosques naturales, las zonas protegidas, los humedales y las turberas. Además, excluye explícitamente la posibilidad de que los bosques puedan convertirse en plantaciones de palma aceitera.
- *Fomento exclusivo de los biocarburantes que generan una reducción de las emisiones de GEI*: la CE indica cómo demostrar que los biocarburantes utilizados generan importantes reducciones de estas emisiones y notifica que no se aceptará ninguno que no produzca una reducción de las emisiones de GEI de al menos el 35 % en comparación con la gasolina y el gasóleo, umbral que en 2017 se aumentará al 50 %. En ese cómputo no solo se ha incluido el CO₂, sino también el CH₄ y el N₂O, GEI más poderosos ambos que el CO₂.

Esto implica que solo los biocarburantes que reúnan esas condiciones contarán para el cumplimiento de los objetivos que la UE debe alcanzar en 2020, en aplicación de la Directiva sobre energía renovable. Además se aplica a todos los biocarburantes, tanto los producidos en la UE como los importados. Solo esos biocarburantes tendrán derecho a ayudas públicas nacionales como las deducciones fiscales.

¹⁸¹ DO. L 140 de 5.06.2009, pp. 16-62.

Para calcular las reservas de carbono en el suelo, la CE debe basarse en las Directrices del IPCC¹⁸². En los casos en que las directrices del IPCC para los inventarios nacionales de GEI carecen de la información necesaria en lo que se refiere a la producción de biocarburantes y biolíquidos, o en que no puede accederse a dicha información, procede basarse en otras fuentes de datos científicos, como los recogidos en la Decisión sobre las directrices de la CE para calcular las reservas de carbono en el suelo¹⁸³. Para dicho cálculo, es importante tener en cuenta el clima, el tipo de suelo, la ocupación del mismo, la gestión de las tierras y los insumos.

Una nueva revisión de los métodos de verificación de masas para evaluación de la sostenibilidad de biocombustibles, en relación, entre otros, a la emisión de GEI, se incluye en un documento de acompañamiento a la Comunicación de la CE al Parlamento Europeo y al Consejo de 31 de enero de 2011: Energía Renovables: progresando hacia la estrategia 2020¹⁸⁴. Este documento se desarrolla en aplicación del artículo 18(2) de la Directiva 2009/28/CE pero considerando que ha entrado en vigor en diciembre de 2010, la CE considera que no tiene hasta la fecha elementos suficientes para evaluar su efectividad, si bien ha hecho lo posible para que no representara una excesiva carga para los productores de biocarburantes.

3.1.2.1.4. Medidas fiscales aplicables a los biocarburantes

La UE ha reestructurado el marco comunitario de tasas de productos energéticos a través de la Directiva 2003/96/CE¹⁸⁵. Esta Directiva, si bien no

¹⁸² Directrices IPCC para cálculo de reservas de carbono en el suelo: Decisión de la CE de 10 de junio de 2010 DO L 151 de 17 de junio, pp. 19-41.

¹⁸³ Decisión de la Comisión de 10 de junio de 2010 sobre las directrices de cálculo de las reservas de carbono en el suelo para el propósito del Anexo V de la Directiva 2009/28/CE (notificado bajo el documento C (2010) (2010/335/EU) D.O. L 151/ 53 de 17.06.2010, pp.19-41.

¹⁸⁴ Documento de acompañamiento a la Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo y al Consejo de 31 de enero de 2011: Energía Renovables: progresando hacia la estrategia 2020, COM (2011) 31 final. No publicado en el DO.

Commission staff working document Report on the operation of the mass balance verification method for the biofuels and bioliquids sustainability scheme in accordance with Article 18(2) of Directive 2009/28/EC, SEC/2010/0129 final

¹⁸⁵ Directiva 2003/96/CE de 27 de octubre, por la que se reestructura el marco comunitario de tasas de productos energéticos y electricidad. D.O. L. 283/51 de 31.10.2003, pp. 51-70.

menciona expresamente el bioetanol ni el biodiesel, en su considerando 26 establece que se posibilita la reducción o exención fiscal para el biocarburante producido en proyectos industriales, es decir permite reducir los impuestos especiales para los biocarburantes para favorecer un mejor funcionamiento del mercado interior, ofrecer una seguridad jurídica adecuada a los Estados miembros y a los agentes económicos, limitar las distorsiones de la competencia y mantener un efecto de incentivo para los productores y distribuidores de biocarburantes, mediante una reducción de los costes de producción.

Así mismo abre la puerta a una consideración futura en el considerando 31¹⁸⁶.

3.1.2.2. España

3.1.2.2.1. Fomento de biocarburantes

La importancia del incremento del uso de los biocarburantes en el transporte radica, no solo en la reducción de las emisiones de GEI imputable a la sustitución de carburantes fósiles por biocarburantes, sino también en su carácter renovable, su contribución a la diversificación del consumo de energía primaria y a una menor dependencia energética de dichos carburantes fósiles, y en los efectos arrastre positivos que podrán derivarse sobre las explotaciones agrarias y el medio rural.

La Ley 34/1998¹⁸⁷, del sector de hidrocarburos, establece objetivos anuales de biocarburantes y otros combustibles renovables con fines de transporte, que son objetivos obligatorios a partir del año 2009, y alcanzan el 5,83% en 2010. Además, habilita al Ministerio de Industria, Turismo y Comercio a dictar las disposiciones necesarias para regular un mecanismo de fomento de la incorporación de biocarburantes y otros combustibles renovables con fines de transporte.

¹⁸⁶ “Es necesario disponer un procedimiento que autorice a los Estados miembros, durante un período determinado, a introducir otras exenciones o niveles impositivos reducidos. Debe acometerse la revisión periódica de dichas exenciones o reducciones”.

¹⁸⁷ Ley 34/1998, de 7 de octubre, del sector de hidrocarburos BOE num. 241 de 8.10.1998, pp. 33517-33549.

Para lograr estos objetivos de la manera más eficiente posible, la ORDEN ITC/2877/2008¹⁸⁸, establece objetivos mínimos por producto inferiores al objetivo global que dispone la Ley, mecanismos de flexibilidad temporal para la contabilización de las cantidades de biocarburantes vendidas o consumidas, y un sistema de certificación y pagos compensatorios que permitiría a los sujetos obligados, la transferencia de certificados, a la vez que sirve como mecanismo de control de la obligación. Para el control de este mecanismo designa a la Comisión Nacional de Energía (CNE). Los operadores autorizados a distribuir al por mayor productos petrolíferos deben acreditar anualmente ante la entidad de certificación la titularidad de una cantidad mínima de certificados de biocarburantes que permitan cumplir con los objetivos que figuran en la Tabla 13.

Tabla13.- Objetivos de biocarburantes en España

	2008	2009	2010	2011	2012
Global	1,9 %	3,4 %	5,83 %	6,2%	6,5%
Diesel	1,9%	2,5%	3,9%	6,0%	7,0%
Gasolinas	1,9%	2,5%	3,9%	3,9%	4,1%

La CNE ha emitido la Circular 2/2009¹⁸⁹, para la puesta en marcha y gestión del mecanismo de fomento del uso de biocarburantes. Así, establece las normas de organización y funcionamiento de este mecanismo de certificación. En concreto, se establecen los procedimientos, normas y reglas para la solicitud de la constitución de Cuentas de Certificación, para la solicitud de expedición de certificados de biocarburantes y para las transferencias y traspasos de certificados y se definen los procedimientos de gestión del Sistema de Anotaciones en Cuenta por parte de esta Comisión.

¹⁸⁸ Orden ITC/2877/2008, de 9 de octubre, por la que se establece un mecanismo de fomento del uso de biocarburantes y otros combustibles renovables con fines de transporte. BOE nº 248 de 14.10.2008, pp. 41170-41175.

¹⁸⁹ Circular 2/2009, de 26 de febrero, de la Comisión Nacional de la Energía, por la que se regula la puesta en marcha y gestión del mecanismo de fomento del uso de biocarburantes y otros combustibles renovables con fines de transporte. BOE Núm. 71 de 24 de marzo de 2009. Sec. I., pp. 28481-29495.

Asimismo en 2010 la CNE ha emitido otra Circular 1/2010¹⁹⁰, como la entidad responsable del control de la obligación de comercialización de biocarburantes, para regular los procedimientos de constitución, gestión y reparto del fondo de pagos compensatorios del mecanismo de fomento del uso de biocarburantes y otros combustibles renovables con fines de transporte.

3.1.2.2.2. Especificaciones técnicas para los biocarburantes

Actualmente las especificaciones técnicas que deben reunir los biocarburantes se encuentran recogidas en el Real Decreto 61/2006¹⁹¹. Este ha sido modificado por el Real Decreto 1027/2006¹⁹² en lo relativo al contenido de azufre de los combustibles para uso marítimo y por el Real Decreto 1088/2010¹⁹³, en lo relativo a las especificaciones técnicas de gasolinas, gasóleos, utilización de biocarburantes y contenido de azufre de los combustibles para uso marítimo. Además de ello, deroga el Real Decreto 1700/2003¹⁹⁴ que trasponía la Directiva 2003/30/CE¹⁹⁵.

Por último, en su Art. 8 establece unas especificaciones concretas en relación con los biocarburantes¹⁹⁶

¹⁹⁰ Circular 1/2010, de 25 de marzo, de la Comisión Nacional de Energía, por la que se regulan los procedimientos de constitución, gestión y reparto del fondo de pagos compensatorios del mecanismo de fomento del uso de biocarburantes y otros combustibles renovables con fines de transporte. BOE Núm.115 de 11 de mayo de 2010. Sec III, pp. 41913-41918.

¹⁹¹ Real Decreto 61/2006, de 31 de enero, por el que se determinan las especificaciones de gasolinas, gasóleos, fuelóleos y gases licuados del petróleo y se regula el uso de determinados biocarburantes. BOE núm. 41 de 17.02.2006, pp.6342-6357.

¹⁹² Real Decreto 1027/2006, de 15 de septiembre, por el que se modifica el Real Decreto 61/2006, de 31 de enero, en lo relativo al contenido de azufre de los combustibles para uso marítimo. BOE núm. 232 de 28.09.2006, pp. 33889-33891.

¹⁹³ Real Decreto 1088/2010, de 3 de septiembre, por el que se modifica el Real Decreto 61/2006, de 31 de enero, en lo relativo a las especificaciones técnicas de gasolinas, gasóleos, utilización de biocarburantes y contenido de azufre de los combustibles para uso marítimo. Disposición 13704 del BOE núm. 215 de 4.09.2010, pp. 76436-76445.

¹⁹⁴ Real Decreto 1700/2003, de 15 de diciembre, por el que se fijan las especificaciones de gasolinas, gasóleos, fuelóleos y gases licuados del petróleo, y el uso de biocarburantes. BOE núm. 307 de 24.12.2003, pp. 45961-45982.

¹⁹⁵ DO. L 123 de 17.05.2003, pp. 42-49

¹⁹⁶ Especificaciones:

- Los productos resultantes de la adición del etanol a la gasolina y del biodiésel al gasóleo de automoción, destinados a su utilización como carburantes de vehículos, han de cumplir las especificaciones recogidas, respectivamente, en los anexos I (gasolinas) y II (gasóleo de automoción) de este real decreto
- Para los porcentajes de mezclas de biocarburantes con derivados del petróleo que excedan de los valores límites de un 5% de esteres metílicos de ácidos grasos (FAME) o de un 5% de bioetanol, se exigirá la existencia de un etiquetado específico en los puntos de venta.

3.1.2.2.3. Medidas fiscales aplicables a los biocarburantes

Las exenciones fiscales que se pueden aplicar en España a los biocarburantes están recogidas en la Ley 53/2002¹⁹⁷. Se fija una exención fiscal durante 5 años a las plantas piloto de producción de biocarburantes, y una exención fiscal modulable para las plantas industriales hasta, al menos, 2012. Además, la Ley define (artículo 50 bis) el tipo impositivo 0 para los biocarburantes, sin que tal beneficio fiscal quede condicionado a que su utilización se produzca en el marco de proyectos piloto para el desarrollo tecnológico de productos menos contaminantes como fijaba la Ley del 92¹⁹⁸.

Por su parte el Real Decreto 1739/2003¹⁹⁹ articula la definición y procedimiento aplicable al caso de los proyectos piloto para el desarrollo de tecnologías de producción de biocarburantes. Igualmente, concreta por vía reglamentaria, determinados aspectos relativos al control de los establecimientos donde los biocarburantes se obtengan o comercialicen.

Existe otra exención prevista en la Ley 22/2005²⁰⁰. Esta Ley tiene como objeto la incorporación al ordenamiento jurídico español de diversas Directivas comunitarias y la regulación del régimen fiscal de las aportaciones transfronterizas a fondos de pensiones en el ámbito de la UE. En relación con los biocarburantes, establece una exención del impuesto de hidrocarburos cuando los biocarburantes se destinen a su uso como carburante,

- De acuerdo con la Directiva 2003/30/CE el valor de referencia para el objetivo indicativo nacional de comercialización de un porcentaje mínimo de biocarburantes se fija en el 5,75%, calculado sobre la base del contenido energético de toda la gasolina y todo el gasóleo comercializado en el mercado con fines de transporte, a más tardar, el 31 de diciembre de 2010.

- En aquellas instalaciones destinadas al almacenamiento y expedición de mezclas de biocarburantes con gasolinas o gasóleos será necesario que los titulares de las instalaciones realicen las correspondientes comprobaciones técnicas.

¹⁹⁷ Ley 53/2002, de 30 de diciembre de Medidas Fiscales, Administrativas y de Orden Social. BOE núm.313 de 31.12.2002, pp. 46086-46191.

¹⁹⁸ Ley 38/1992, de 28 de diciembre, de Impuestos Especiales. BOE núm. 312 de 29.12.1992, pp. 44305-44331.

¹⁹⁹ Real Decreto 1739/2003, de 19 de diciembre, por el que se modifican el Reglamento de los Impuestos Especiales, aprobado por el Real Decreto 1165/1995, de 7 de julio, y el Real Decreto 3485/2000, de 29 de diciembre. BOE núm. 11 de 03.01. 2004, pp. 1056-1067.

²⁰⁰ Ley 22/2005, de 18 de noviembre, por la que se incorporan al ordenamiento jurídico español diversas directivas comunitarias en materia de fiscalidad de productos energéticos y electricidad y del régimen fiscal común aplicable a las sociedades matrices y filiales de estados miembros diferentes, y se regula el régimen fiscal de las aportaciones transfronterizas a fondos de pensiones en el ámbito de la Unión Europea. BOE num. 277 de 19.11.2005, pp. 37821-37838.

directamente o mezclados con carburantes convencionales, en el campo de las actividades piloto para el desarrollo tecnológico de productos menos contaminantes.

La modificación del Reglamento de los Impuestos Especiales se ha llevado a cabo a través del Real Decreto 191/2010²⁰¹ que incluye modificaciones en numerosos preceptos para incorporar mejoras en la gestión y control de los impuestos especiales de fabricación. Así, se incorporan modificaciones exigidas por la necesaria actualización de la normativa para su adaptación a los nuevos procesos tecnológicos, de fabricación y de tratamiento de la información, así como para el cumplimiento de los objetivos permanentes, simplificar procedimientos y reducir formalidades. Ejemplos destacados de lo anterior pueden ser la mayor flexibilidad dada a la determinación de los casos en que resulta válido un documento de circulación; la posibilidad de conservación de la documentación en soporte informático o la posibilidad de realizar las mezclas de biocarburantes o biocombustibles con carburantes o combustibles convencionales en buques.

3.1.3. Otras economías y organizaciones internacionales

3.1.3.1. EE.UU. y otras economías desarrolladas

3.1.3.1.1. EE.UU.

En relación con el transporte, EE.UU. posee un tercio de todos los vehículos del mundo (230 millones) y consume el 25% de las reservas de petróleo ya que los combustibles fósiles como el carbón, el gas y el petróleo son los que proporcionan la mayor parte de la energía consumida en ese país, pero también son a su vez los responsables del cambio climático y otros problemas ambientales (EPA, 2010).

No hay que olvidar que Norteamérica (EE.UU. y Canadá) en su conjunto contribuye a las emisiones mundiales de GEI en un 19,4%.²⁰²

²⁰¹ Real Decreto 191/2010, de 26 de febrero, por el que se modifica el Reglamento de los Impuestos Especiales, aprobado por el Real Decreto 1165/1995, de 7 de julio. Publicado en el BOE n° 53 de 10.03.2010, pp. 20279–20359.

²⁰² Datos del 4º Informe de Síntesis. Cambio Climático 2007 (IPCC).

Así, el hecho de que los principales combustibles fósiles sean derivados del petróleo provoca inseguridad energética, contribuciones al cambio climático y otros problemas ambientales. En ausencia de políticas sobre este tema, las emisiones procedentes del transporte crecerían el 40% (USDOE, 2007) para el 2030, por lo que es preciso estudiar alternativas al petróleo.

En septiembre de 2008, el Gobierno de los EE.UU. presentó su “*Plan de Acción Nacional sobre los Biocombustibles*” elaborado conjuntamente por el Departamento de Energía y la Agencia Federal de Agricultura, a través del Consejo Interagencias de Investigación y Desarrollo de la Biomasa. Aunque la administración del Presidente Barack OBAMA ha dado un fuerte impulso a la producción de las energías renovables, desde el año 2006, las Agencias Federales están dando importantes pasos para implementar la *Iniciativa Avanzada sobre Energía* que incluye fuerte financiación a la producción de biocombustibles (USDOE, 2007).

Los biocombustibles son uno de los objetivos a corto plazo para aumentar la seguridad energética y adoptar medidas frente al cambio climático. De hecho, el Presidente George BUSH ya adoptó en el año 2007 otra iniciativa, la “*Twenty in Ten*”²⁰³, que persigue disminuir el 20% el consumo de petróleo en 10 años, mediante el aumento de los biocombustibles a través del establecimiento de un objetivo obligatorio de alcanzar 136.000 MI de biocombustibles en 2017.

En diciembre de ese mismo año, el Congreso adoptó un Estándar sobre combustibles renovables por el que se requiere producir 136.000 MI de biocombustibles/año para el 2022 e incluye propuestas avanzadas como es la producción de bioetanol a partir de materia celulósica. Por su parte, el Departamento de Energía de los EE.UU. (USDOE) destinó 1.000 millón de

²⁰³ Iniciativa presentada por el presidente de los EE.UU. George Bush al Congreso en el año 2007. La Ley de Independencia y Seguridad Energética de 2007 (Pub. L. 110-140), recoge este compromiso con las modificaciones introducidas por el Congreso. El compromiso anterior (2005) era producir 7.500 millones de galones de biocarburantes para mezclar con los combustibles tradicionales para el 2012.

dólares (770 M€) para iniciativas conjuntas con el sector privado en esta materia (Biomass Research and Development Board, 2008).

Las exportaciones de maíz en EE.UU. han aumentado desde 2007/2008 a niveles muy por encima de la media de los 10 años previos, a pesar de haber alcanzado un nivel récord de producción de bioetanol. Los niveles de exportación de maíz en 2009/2010 están entre los más elevados de la historia. Además, la industria de bioetanol ha exportado una cantidad récord de piensos para animales (subproducto obtenido a través del proceso de fabricación de etanol) a los productores ganaderos de todo el mundo durante 2008 (USDA, 2009).

En mayo de 2009, el Presidente Barack OBAMA anunció un *Programa Nacional para reducir las emisiones de GEI y mejorar la economía de los biocombustibles*. En el marco de este programa, en el mes de septiembre, la EPA y la Administración Nacional de Seguridad Vial (NHTSA) han propuesto un histórico Programa de reducción de emisiones para los nuevos vehículos vendidos en EE.UU. Los estándares combinados del programa afectarían a turismos, camiones ligeros y vehículos de transporte de pasajeros cubriendo todos los modelos entre el 2012 y el 2016. El requerimiento es que dichos vehículos deben tener una emisión media de 250 gr de CO₂/1,60 km, a través de mejoras en la combustión. Se calcula que esta medida evitaría la emisión de 950 Mt de CO₂ y el consumo de 1.800 M de barriles de petróleo.²⁰⁴

En términos generales, las diferentes Agencias Federales han adoptado una serie de incentivos de todo tipo para la producción de biocombustibles, los cuales se han reunido en un informe de los Servicios del Congreso, publicado en enero de 2009 (Congressional Research Service, 2009).

En 2009, la EPA y la NHTSA presentaron el “Programa Nacional para la reducción de los GEI y mejora de la eficiencia de los vehículos vendidos en

²⁰⁴ Disponible en www.epa.gov/oms/climate/regulations).

EE.UU.”, actuando a tres niveles: (1) sobre los vehículos, (2) sobre los motores, y (3) sobre los combustibles²⁰⁵.

Además de ello, en diciembre de 2009, la EPA ratificó dos ponencias²⁰⁶ que evalúan los posibles efectos del cambio climático en la salud humana y declaran los GEI como una amenaza para la salud y el bienestar de la población. Gracias a ello se han puesto en marcha medidas para realizar el inventario y regular estas emisiones.

La adaptación a los posibles efectos del cambio climático será crítica para apoyar las medidas que conjugan la protección ambiental y el crecimiento económico. El “Programa sobre cambio global y clima” de la EPA proporciona una información muy útil para la toma de decisiones en relación con las políticas de adaptación. Este programa ha ayudado mucho en el desarrollo de la “Estrategia de Adaptación de Alaska” que es una de las más completas que se han elaborado por parte de los Estados, ya que cubre infraestructuras públicas, salud y cultura, sistemas naturales y actividades económicas. Alaska ha publicado también su Estrategia de Mitigación²⁰⁷.

Adicionalmente, en febrero de 2010 el Presidente Barack OBAMA anunció tres acciones importantes del Gobierno Federal para estimular la producción de biocombustibles, que son las siguientes:

1. Una norma de la EPA para implementar el estándar de combustibles renovables de producir 136.000 Ml de biocombustibles para el 2022.
2. Una norma del Departamento de Agricultura (USDA) para su Programa de Asistencia a los cultivos de la biomasa que proporciona financiación para incrementar la producción de biomasa para obtener bioenergía, y

²⁰⁵ La industria de la aviación utiliza en EE.UU. unos 1.600 millones de galones de combustible/año y es responsable del 5% de las emisiones de GEI. En este sentido, la empresa APPLIED RESEARCH ASSOCIATES, Inc. (ARA) ha desarrollado una novedosa tecnología para producción de biocombustible (pendiente de patente) que convierte el aceite de jatrofa, ricino y algas en combustible similar al queroseno que utilizan habitualmente las aeronaves. Esta tecnología “Jatropha Harvest Experience” puede tener gran interés para la industria aeroespacial (Disponible en <http://www.jatrophaworldcostarica.com>)

²⁰⁶ Endangerment and Cause or Contribute Findings for Greenhouse Gases under Section 202(a) of the Clean Air Act. - Cause or Contribute Finding.

²⁰⁷ Disponible en: www.epa.gov/sustainability/energy.htm.

3. La emisión del primer informe (2010) del “Grupo de Trabajo Interagencias para los biocombustibles” que ha creado el Presidente. El informe expone la estrategia para avanzar en el desarrollo y comercialización de una industria sostenible de biocombustibles a corto y largo plazo, utilizando estrategias como las Alianzas público-privadas. Además alienta al aumento del consumo de biocombustibles por parte del propio gobierno (USDOE, 2010).

En relación con el objetivo de renovables para el 2022 de la EPA, este objetivo incluye que el 60% debe proceder de biocombustibles avanzados, entendiendo por ello, aquellos que reducen las emisiones de GEI en un 50%. Por primera vez, se exige que estos combustibles consigan reducciones de GEI frente a la gasolina y al diesel a los que desplazan. La EPA calcula que gracias al estándar se reducirá la dependencia de los EE.UU. frente al petróleo en más de 328 millones de barriles anuales.

La EPA establecía además que en 2010 debían utilizarse en el transporte 48.951 Ml de combustible renovable. En cuanto al biodiesel, se requerían 4.347 Ml entre 2009 y 2010, debido a que no se consiguió el objetivo previsto para 2009 (EPA, 2010).

Más recientemente, en enero de 2010, el Secretario del DOE, Steven CHU, anunció la inversión de unos 62 M€ en investigación sobre biocombustibles avanzados y nuevas infraestructuras de distribución. Para ello, se seleccionaron dos consorcios por más de 60 M€ para la investigación basada en el cultivo de algas, en la creencia de que estos biocombustibles son cruciales para la construcción de una economía energética limpia y un sistema de transporte sostenible.²⁰⁸

²⁰⁸ Disponible en www.energy.gov/biomass/news

La EPA ha presentado en 2011 una propuesta que tiene por objeto incrementar la producción de biodiesel a partir de cultivos energéticos de 3.024 MI en 2011 a 3.780 MI en 2012 y casi 4.914 MI en 2013²⁰⁹.

Por su parte el Senado ha introducido legislación para extender el incentivo fiscal al biodiesel durante 3 años más, lo que puede representar una importante medida para la creación de puestos de trabajo²¹⁰.

3.1.3.1.2. Australia

A pesar del creciente debate internacional sobre el punto de inflexión “Peak oil” a partir del cual las reservas mundiales de petróleo empiezan a agotarse, y a pesar de los compromisos internacionales para reducir las emisiones de GEI²¹¹, el enfoque planteado por el Gobierno Australiano en relación con los biocarburantes es uno de los mejor planificados que existen ya que, antes de lanzarse a la promoción de estos combustibles alternativos como la mayoría de los países desarrollados, realizaron un estudio para analizar detalladamente los riesgos y las oportunidades que conlleva (RIRDC, 2007).

En el estudio llevado a cabo en el año 2007 por la Corporación para el Desarrollo y la Investigación de las Industrias Rurales (RIRDC, 2007), se reconoce que en ese momento la industria de los biocarburantes en ese país estaba en pañales y que el desarrollo de la misma estaba sometido a múltiples incertidumbres, ya que el hecho de plantearse un objetivo del 10-20% de biocombustibles para el transporte, podía implicar importantes cambios en la cadena de valor agrícola y forestal.

El documento reconoce que existen oportunidades potenciales para las comunidades rurales del país, así como para las urbanas por la mejora de la calidad del aire y por tanto de la salud, pero, no obstante, se plantea importantes preguntas como son:

²⁰⁹ Disponible en http://biodiesel.org/news/pressreleases/20110621_VolumeRequirements.htm

²¹⁰ Disponible en http://biodiesel.org/news/pressreleases/20110624_JobCreation.htm.

²¹¹ Protocolo de Kioto.

1. ¿Cuáles son los argumentos para la promoción de esta industria? Es decir, hasta qué punto pueden los biocarburantes reducir las emisiones, proporcionar seguridad de combustibles y beneficios para el suelo y el agua, mejorar la salud humana o presentar beneficios sociales?.
2. ¿Cuál debe ser la naturaleza de los cultivos para producir biocombustibles, ahora y en el futuro?.
3. Habrá competencia con los mercados alternativos?.
4. Que aspectos de la sostenibilidad deben considerarse?.
5. Hasta qué punto son comparables los estándares de referencia para el bioetanol y el biodiesel?.
6. Qué infraestructura existe en la actualidad para producir biocombustibles? Y cual se requerirá en el futuro?.
7. Qué políticas se verán afectadas por estos productos?.
8. Como puede ampliarse la demanda de biocombustibles?.
9. Existen opciones para fomentar la inversión futura?.

El informe trata de dar respuesta a todas estas cuestiones para orientar la toma de decisiones por parte de las Autoridades Gubernamentales.

En este sentido, el informe, como otros muchos, considera que la posible reducción de emisiones de GEI depende en gran parte de la forma de producir los cultivos energéticos y que, en cualquier caso, es preciso considerar el ciclo de vida completo del producto. Si bien las mezclas más probables son E10, B5, B20 y B100, lógicamente cuanta mayor proporción de biocombustibles exista en la mezcla, habrá una mayor posibilidad de reducir emisiones frente a los combustibles fósiles. Por ejemplo, en un diesel producido a partir de aceites residuales, la disminución de emisiones va desde el 89,5% con el B100 al 4,2% con el B5, en comparación con el diesel, mientras que con uno producido a partir de aceite de colza, el rango es de 15% menos de emisión con el B100 al 1,5% menos con el B5.

Sobre la seguridad energética, el informe afirma que si la cantidad de bioetanol que se propone producir se tuviera que hacer con los cultivos existentes, implicaría la necesidad de importar trigo en épocas de sequía. De

este modo, se ve mayor potencial de conseguir seguridad energética a partir de las tecnologías de 2ª generación como los restos lignocelulósicos o a partir de árboles y arbustos energéticos.

El efecto sobre el suelo y el agua dependería de la escala de la industria de producción y del tipo de cultivo. Evidentemente si se fabrica etanol a partir de material existente no es igual en cuanto a requerimientos de agua y suelo que si se precisa una plantación extensiva para producir biodiesel.

En cuanto a la salud, por los estudios existentes, parece que el único parámetro que *no mejora con la utilización de los biocarburantes son los NOx*, ya que los diesel bajos en azufre emiten menos incluso que el biodiesel, mientras que sí se encuentran beneficios en relación a las partículas, cuyas emisiones se reducen con el uso del biodiesel, especialmente el B100. Sobre el uso del bioetanol, sobre todo con el E10, los beneficios no se ven tan claramente.

En relación con la competencia de estos productos en los mercados es importante saber que alimentos, piensos y biocombustibles están compitiendo en el mercado por los mismos cultivos, lo que parece que ha llevado a un aumento internacional de precios de productos básicos ya que en los últimos años se ha doblado el precio de la colza y ha aumentado el 20% el de los cereales, almidón y glucosa. Esto no ha sido un problema para Australia ya que está produciendo bioetanol a partir de almidón residual y de molasas²¹². El informe considera que en el caso de desarrollarse una industria de biocombustibles a gran escala en Australia, habría una competencia de mercados, no solo por los alimentos, sino por los factores de producción como el agua, el suelo y la mano de obra por lo que se afectarían otros muchos sectores industriales del país.

Aunque el informe se ha centrado en el bioetanol y el biodiesel, se considera que en ese país existen otros combustibles alternativos que pueden ser de interés como son el butanol obtenido a partir de la fermentación de la biomasa por las bacterias; el metanol que es un combustible líquido que se puede

²¹² Residuo del azúcar después de retirar la fracción cristalizada.

utilizar puro o mezclado y se obtiene del gas natural o por procesos bioquímicos y el metil-tetra-hidrofurano que se obtiene a partir de la biomasa mediante un proceso denominado Biofine²¹³.

En cuanto a los criterios de sostenibilidad, parece que un objetivo del 10-20% de biocombustibles para el transporte implica una fuerte demanda de biomasa que se debe producir de forma sostenible y no reproducir errores de otras áreas del mundo donde la superficie de cultivo de la palma aceitera ha aumentado desde 1990 el 43% o dar lugar a una deforestación que puede tener importantes repercusiones para la biodiversidad y provocar conflictos sociales. Así, Australia ha establecido criterios e indicadores de sostenibilidad para la agricultura y el bosque, así como evaluaciones de impacto ambiental y social para proyectos específicos.

En relación con las infraestructuras para los biocarburantes de 1ª generación:

- La capacidad de producción de bioetanol en Australia en 2007 era de 140 M litros y se pretende alcanzar los 1.155.
- La capacidad de producción de biodiesel era de 323 M litros y se quiere alcanzar la cifra de 1.122.

Parece que sería asumible con las infraestructuras existentes²¹⁴.

Un elemento importante en este país es la distancia de transporte de los productos que, si va más allá de 50 km no se justifica desde una perspectiva financiera.

Sobre las políticas que afectarán a los biocombustibles, se estima que los subsidios al uso de combustibles fósiles van de 1.600-7.500 millones de euros. Estas estimaciones incluyen los subsidios perversos que pueden aumentar las emisiones de GEI y reducir la eficiencia económica. En la

²¹³ Biofine es una tecnología comercializada que utiliza un proceso en dos etapas para romper la lignocelulosa de la biomasa y obtener productos químicos intermedios.

²¹⁴ Los procesos para la obtención de biocarburantes de 2ª generación requieren equipos de alta presión y temperatura (gasificación, pirólisis) que no son comparables con las infraestructuras de 1ª generación.

actualidad existen subsidios a los productores de biocarburantes de 0,28 euros/litro que está previsto que disminuya a partir de 2015 a 0,09 para bioetanol y 0,14 para biodiesel.

Así, los cambios producidos en 2006 en la “Ley de Tasas a los Carburantes”²¹⁵ han tenido un gran impacto sobre la industria del biodiesel.

Finalmente, en cuanto a la demanda, a medio plazo es importante la red de distribución de estos combustibles ya que solamente el 5% de las 8.000 estaciones de servicio del país dispensan mezclas de bioetanol y biodiesel. En los estados del sur y oeste es difícil encontrar E10 y B5. A largo plazo, el mayor inconveniente es la confianza de los consumidores que tienen la percepción de que estos productos pueden dañar sus motores, por lo que es preciso realizar campañas de información y otras acciones como incentivos y descuentos (RIRDC, 2007).

Otro estudio realizado por la Organización de la Commonwealth para la Investigación Científica e Industrial (CSIRO, 2009) se ha centrado en la producción de biodiesel y otros biocombustibles a partir de algas en Australia. Se considera que este combustible podría reducir las emisiones de GEI, contribuir en la seguridad energética y crear nuevos puestos de trabajo en las áreas rurales de Australia, gracias al prometedor potencial de las algas tras un detallado análisis de los beneficios del biodiesel obtenido de ellas (CSIRO, 2009).

Esta investigación ha demostrado que, bajo condiciones ideales, es posible producir biodiesel a un coste menor y con menos emisiones de GEI, que el diesel convencional (gasóleo), que procede de los combustibles fósiles.

Las algas proliferan en un medio con CO₂, lo que significa que las emisiones de CO₂ ambientalmente dañinas, producidas por las industrias, pueden convertirse también en un recurso valioso. Este biodiesel de algas también puede ofrecer muchos otros beneficios, ya que se eliminaría el problema de la competencia por el uso de la tierra, que estaría disponible para la producción

²¹⁵ <http://www.ato.gov.au/>

de alimentos. Las granjas de algas tienen un impacto ambiental muy bajo en comparación con los campos de cultivo empleados para la obtención de biodiesel. En este estudio también se ha llegado a la conclusión de que la creación de una granja de algas para biodiesel, de 500 ha de extensión, puede generar hasta 45 nuevos puestos de trabajo.

La CSIRO en sus investigaciones en energías renovables, está trabajando con otras entidades, tanto nacionales como extranjeras²¹⁶, para desarrollar un sólido programa de investigación de biocombustibles obtenidos de las algas. A pesar del interés mundial en la producción de biodiesel de este origen, todavía hace falta más investigación científica para poder crear una industria viable y a gran escala, así como superar los retos sobre el coste, las necesidades en infraestructuras y la escala de producción requerida para hacer viables las factorías de producción de combustible basado en algas²¹⁷.

Los problemas económicos asociados a la competencia de los cultivos energéticos con la producción de alimentos se han manifestado también en este país como se puso de manifiesto en diciembre 2009 en que la compañía australiana de energía-renovable NATURAL FUEL LTD, se vio obligada a detener la planta de biodiesel más grande del país, a la espera de que bajaran los precios de la materia prima²¹⁸.

La producción de la planta de Darwin (Australia) comenzó a finales de 2006, pero nunca llegó a funcionar a su plena capacidad de 120.000 t/año (2400 barriles/día, debido a que los precios del aceite de palma, principal materia prima de NATURAL FUEL LTD, se duplicaron en los últimos meses, la empresa se vio obligada a buscar materias primas alternativas con costes más bajos.

²¹⁶ La petrolera finlandesa NESTE OIL y el INSTITUTO BIOMAR.

²¹⁷ Disponible en www.amazings.com/ciencia/noticias/150409d.html.

²¹⁸ Disponible en <http://www.biodisol.com/tags/>.

3.1.3.1.3. Japón

En Agosto de 2007, el Ministerio de Agricultura japonés anunció un proyecto para producir combustible derivado de las partes no comestibles del arroz, el alimento más consumido allí, con objeto de disminuir su dependencia energética del petróleo y la energía nuclear y evitar que el precio de los alimentos se dispare²¹⁹.

El tema nuclear despierta en Japón una fuerte sensibilidad ya que el terremoto de 6,8 grados que afectó a la más grande central nuclear de Japón en 2007 reavivó la discusión respecto a la seguridad del uso de este tipo de energía y dio una nueva razón para los defensores del etanol y los biocombustibles de incentivar su uso²²⁰.

Dada la experiencia de Brasil²²¹ en el tema de los biocarburantes y las dificultades del Gobierno japonés para destinar tierras al desarrollo de cultivos energéticos, el Ministerio de Asuntos Exteriores nipón acordó con el Gobierno de Brasil cooperar en la investigación de biocombustibles, alimentación y lucha contra el sida, en el ámbito bilateral de los dos Estados en 2009. Ambos Gobiernos acordaron en Tokio compartir una estrategia de investigación científica y tecnológica junto con los representantes de los Ministerios de Ciencia y Tecnología de los dos países. En concreto, Japón colabora con Brasil en investigación biotecnológica y tiene previsto concentrar esfuerzos en el ámbito de las energías renovables y temas ambientales. Japón aportará su tecnología en 4 áreas: (1) desarrollo de bioetanol, (2) investigaciones sobre los ciclos de CO₂ en el Amazonas, (3) seguridad alimentaria y (4) lucha contra el sida.

²¹⁹ Previamente, en el ámbito privado, en el año 2006, el Banco de Inversiones de Japón anunció la inversión de unos 985 millones de euros a partir de abril de 2007 en proyectos de etanol y biodiesel en el marco del Programa brasileño de Agricultura Energética. El gobierno brasileño y el banco firmaron contratos para dar inicio a las inversiones a finales de ese año. El acuerdo es resultado de una serie de negociaciones iniciadas en mayo de 2004 entre el Ministerio de Agricultura de Brasil y los inversores japoneses. Para ello, representantes del banco japonés y técnicos brasileños, analizaron el sector de biocombustibles en Brasil para definir metas de producción y comercialización de etanol y biodiesel, así como los impactos socioeconómicos del proyecto, entre otros aspectos.

²²⁰ Disponible en www.asiapacifico.bcn.cl/noticias/japon-experimentara-con-biocarburantes-derivados-del-arroz.

²²¹ Según un informe de 2006 del BID “Biocombustibles y el BID”, en el campo energético, Brasil es una de las naciones que con mayor éxito utiliza los biocombustibles.

En lo referente a la primera de estas áreas, Japón contribuirá con sus conocimientos y tecnología para evitar el impacto de los biocombustibles provenientes de cereales en la oferta alimentaria. Asimismo, el país asiático pondrá a disposición la información obtenida con sus satélites para estudiar los ciclos del CO₂ en la selva del Amazonas y su impacto en el suelo.

Por otro lado, colaborará con Brasil para asegurar el abastecimiento alimentario relacionado con las plantaciones de soja en ese país (ADN, 2009).

En relación con la regulación, el Ministerio de la Energía de Japón tiene previsto introducir Leyes antes de 2012 que requieran a todos los nuevos vehículos ser compatibles con una mezcla del 90% de gasolina y el 10% de bioetanol (E10). Hasta ese momento, el Ministerio pretende que la mitad del combustible consumido por los vehículos contenga el 3% de bioetanol (E3). De acuerdo con el Protocolo de Kioto, Japón, cuarto usuario de petróleo del mundo, se ha comprometido a recortar las emisiones de CO₂ entre 2008 y 2012, en el 6% respecto a los niveles de 1990. En ese país, las emisiones de GEI totalizaron 1.330 Mt. en 2005, superando los 1.240 Mt de 1990, según su Ministerio de Medio Ambiente.

El combustible E10 estará disponible para el mercado japonés a partir de 2020 y para 2030 todos los vehículos en Japón deberían usarlo, de acuerdo a este plan. Según lo estimado, el cambio completo a la gasolina E10 reducirá las emisiones de CO₂ en unos 10 Mteq. La cantidad de bioetanol que se espera utilizar en 2030 equivale a 2,2 Mkl de petróleo. Los coches nuevos actualmente en venta en Japón ya pueden usar gasolina E3, a pesar de que el combustible no está disponible de forma global en su mercado²²².

El país tenía previsto aumentar el consumo de biocombustibles para el transporte a 500.000 kl (3,14 millones de barriles) para finales de 2010.

A partir de abril de 2010, las refinerías de la nación se planteaban abastecer cerca de 12 Mkl de gasolina mezclada con etanol, equivalente a 20% del consumo total de gasolina del país²²³. NIPPON OIL y otras refinerías venden

²²² Disponible en www.biodieselpain.com

²²³ El etanol en Japón se produce a partir del procesamiento del maíz y el azúcar.

gasolina mezclada con etanol en las estaciones de servicio como prueba desde abril de 2007, antes de su introducción en forma generalizada en 2010. Las refinerías mezclarán 7% de ETBE con gasolina²²⁴.

3.1.3.2. Economías emergentes (China, India y Brasil)

3.1.3.2.1. China

Al igual que otros países, los objetivos más importantes para China de la promoción de los biocarburantes, son la reducción de la dependencia del petróleo y la mejora de la calidad de vida en el medio rural debido a las grandes diferencias que existen entre estas y las zonas costeras que están bastante más avanzadas.

Según un informe del USDA (2006), en ese año, China producía anualmente 920.000 t. de etanol (tercer productor mundial) y se planteó a través de su Plan Económico a 5 años (2006-2010), alcanzar la cifra de 4 Mt. Esto era posible ya que el Gobierno chino se había focalizado en este combustible durante tres décadas y había creado para ello estándares, leyes y estrategias económicas. Por el contrario, mientras que la demanda de diesel es el doble que la de la gasolina, la industria y el marco político para el desarrollo del biodiesel era muy marginal.

China fomenta la producción de biocombustibles para cubrir su enorme demanda energética y así reducir su creciente dependencia de importación de petróleo. Los biocombustibles también se promocionan como la panacea ambiental para los problemas de contaminación que supone la quema de combustibles fósiles como el petróleo.

Las Autoridades chinas han priorizado el desarrollo de energías limpias en el plan económico quinquenal. Uno de sus objetivos es que en 2020 las fuentes renovables de energía representen el 15% del suministro energético total del país. A pesar de su tardía llegada al mercado de los biocombustibles, China ha pasado a ser, en los dos últimos años, el tercer productor mundial después de

²²⁴ Disponible en www.ipcdigital.com/es/Noticias/Economia/Gobierno-japones-fomentara-uso-de-biocombustibles.

Brasil y EE.UU. La Comisión Nacional de Reforma y Desarrollo, máximo órgano de planificación, informó que a finales de 2009 la producción de etanol llegó a los 10 Mt., ó 10 veces la cantidad aprobada para las 4 fábricas que el Gobierno tiene en las provincias de Jilin, Heilongjiang, Anhui y Henan. El excedente procede de un grupo de pequeños productores sin licencia que venden a las refinerías de petróleo o molinos aprobados por el Gobierno. Varios especialistas del sector señalan que sólo en Jilin, una de las nueve provincias habilitadas para vender etanol, hay 400 molinos, todos utilizando el maíz como materia prima. Por temor a que el crecimiento explosivo de la industria de etanol disminuya en forma significativa las reservas de granos, Beijing interrumpió en diciembre de 2009 los permisos para instalar nuevas plantas. El Gobierno anunció en marzo de 2010 que sencillamente prohibiría la producción de ese biocombustible a partir del maíz. La Comisión Nacional de Reforma y Desarrollo, informó que el Consejo de Estado²²⁵ decidió que el etanol debía producirse sin utilizar tierras cultivables o grandes cantidades de granos y sin dañar el ambiente.

Las Autoridades chinas están preocupadas porque el rápido retroceso de las tierras cultivables pueda afectar el suministro de granos en un futuro cercano, a pesar de haber tenido 3 años de buenas cosechas. Las tierras cultivables disminuyeron en 8 Mha entre 1999 y 2005²²⁶.

En el año 2007, el Gobierno de China, a través de su Ministerio de Agricultura, informó que su objetivo era desarrollar biocombustibles líquidos como el etanol y el biodiesel en las áreas rurales para disminuir en 2020 el uso del petróleo refinado en 10 Mt., lo que representa más de una cuarta parte.

El desarrollo de biocombustibles debía solucionar la escasez de energía del país y garantizar el abastecimiento. China es el tercer mayor importador de petróleo del mundo, tras EE.UU. En 2006 importó el récord de 36,38 Mt. de petróleo refinado, 15,7% más que en 2005, para alimentar un crecimiento económico anual calculado en el 10,7%. China confiaba en que la producción de cultivos energéticos y de residuos en las áreas rurales para producir

²²⁵ Gabinete de Ministros.

²²⁶ Disponible en www.ipsnoticias.com, 2010.

biocombustibles, cubriría la creciente demanda de energía del país e impulsaría la economía rural. Para sus expertos, los biocombustibles son la cuarta fuente más importante de energía después del carbón, el petróleo y el gas natural, pero se han encontrado con los mismos problemas que han afectado a otras regiones del mundo²²⁷.

A comienzos del 2010 se produjo una subida de los precios de los cereales y del cerdo²²⁸ que se atribuye a la industria del etanol, cuyo crecimiento explosivo utiliza una porción cada vez mayor de las cosechas, tradicionalmente destinadas al consumo de la población y a la alimentación de los animales. Las Autoridades temen que al haber promovido durante años la producción de biocombustibles como aditivos limpios para la gasolina, el sector haya crecido en exceso y demasiado rápido. Esa situación plantea al Gobierno el desagradable dilema de tener que optar entre la “Agenda verde del país” y el abastecimiento alimentario.

Recientemente, la Agencia Veterinaria del Ministerio de Agricultura chino afirmaba que "la principal razón es el enorme aumento del costo de la alimentación (del cerdo), que comenzó a producirse en verano de 2009". Los cerdos se nutren principalmente de maíz, cuyo precio acompañó el incremento general de los cereales. Los granos aumentaron el 30% desde la segunda mitad de 2006.

Un problema añadido es que los cultivadores ignoraron el tope de producción impuesto por el Gobierno de 3 Mt. de cereales anuales para fabricar etanol y utilizaron 16 M en 2006.

En 2010, el Gobierno chino y el de los EE.UU. han firmado un proyecto conjunto para producir biocarburante para las aeronaves a partir de algas y esperan poder probarlo a finales de este año. El proyecto forma parte de un

²²⁷ Disponible en <http://www.xinhuanet.com/spanish/2007>.

²²⁸ La última gran hambruna en China, quizá la mayor padecida por la humanidad, ocurrió durante el desastroso plan para industrializar el país llamado "Gran salto adelante" a fines de los años 50, a consecuencia del cual murieron unas 30 millones de personas. Desde entonces, la disponibilidad de alimentos es cuestión de seguridad nacional para las autoridades que deben velar por unos 1.300 millones de personas que habitan el inmenso territorio chino.

programa de fomento de las energías renovables para combatir el cambio climático (DAILY REPORTER, 2010).

3.1.3.2.2. India

Para la India, con una población de más de 1.000 M de habitantes, que representa una sexta parte de la población mundial, el tema de los biocarburantes es de importancia mayor. Su población crece a un ritmo del 1,93% por año, bastante por encima de la media global. De hecho se ha triplicado en los últimos 50 años, pasando de 361 M en 1951 a 1.027 M en 2001. Igualmente su economía ha crecido rápidamente en la última década con un PIB actual del 5%. Este hecho ha dado lugar a un aumento en la demanda de automóviles a un ritmo del 10% anual. Así, el número de vehículos en las carreteras indias ha aumentado en la última década de 20 M en 1991 a 50 M en el año 2000 (INDIA, 2004).

La India estima que llegará a ser el tercer mayor consumidor de combustible para el transporte en el año 2020, después de EE.UU. y China con un porcentaje de crecimiento del 6,8% anual (INDIA, 2002). En el año 2004 importaba el 70% de su demanda de petróleo (INDIA, 2004) con la inestabilidad que eso implica, que se puede ver agravada por el crecimiento en la demanda. Según un estudio de BP, en esos momentos el 68% del crudo de Oriente Medio se consumía en países asiáticos, mientras que solamente el 32% era exportado a Europa, África y América (BP, 2004).

En la actualidad, en producción de energía eólica, la India ocupa el quinto lugar en el mundo. Y cuando se trata de espacio, alcance e instalaciones para la expansión de la energía renovable, la India ocupa el cuarto lugar en el mundo (AIE, 2009).

La firma MCKINSEY and COMPANY, ha presentado un estudio en mayo de 2009, declarando que la India tiene una de las intensidades solares más altas

del mundo con un rendimiento anual de energía solar²²⁹ que va desde los 1.700 a 1.900 kw, similar a los EE.UU. (MCKINSEY & COMPANY, 2009).

El índice de desarrollo del país en la biomasa ocupa el tercer lugar en el mundo después de EE.UU. y Alemania. Países como Italia, Reino Unido, Francia, Canadá y Australia están detrás de la India en este índice mundial.

Asimismo, revela que el potencial de biomasa de la India podría ser tan alto como 70 GW²³⁰ y en desechos agrícolas de 18 GW. El uso de tierras baldías para el cultivo de materias primas (biomasa leñosa) es otra fuente potencial de la biomasa y el país está desarrollando un programa para cultivar árboles como los álamos y los olmos en 80 Mha de tierras degradadas, que podría generar de 45 a 50 GW de potencia.

En la Tabla 14 se presenta la evolución del PIB de la India en comparación con otras economías mundiales.

²²⁹ Después de la India y EE.UU. (principalmente el Estado de California), España es el mayor productor de energía solar con 1.500 a 1.600 kWh/kWp, seguido de Italia, Australia, China, Japón y Alemania. Según Ernst & Young los índices de atracción de las energías renovables de estos países, los clasifica sobre la base del marco normativo, fiscal, recursos sin explotar, adecuación a las diferentes tecnologías y otros factores que determinan el crecimiento de las energías renovables en un país. India mantiene un ranking dentro de los cinco principales países en el mundo.

Además de la energía solar y eólica, el índice de la India para el desarrollo de los recursos energéticos renovables en el sector de la energía hidroeléctrica es la cuarta más alta del mundo después de EE.UU., Alemania y China.

²³⁰ Gigavatio es una unidad de potencia en el Sistema Internacional que equivale a mil millones de vatios

Tabla 14.- Evolución y previsiones de crecimiento del PIB - Resumen (% Anual)

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Mundial Abril 2007	4,90	4,86	4,82	4,86	4,80	4,81	-	-
Mundial	5,20	2,95	-1,02	3,08	4,16	4,43	4,58	4,53
China	13,01	9,01	8,50	9,03	9,73	9,84	9,77	9,51
India	9,37	7,35	5,35	6,42	7,28	7,64	7,99	8,08
Economías avanzadas	2,70	0,58	-3,39	1,30	2,61	2,37	2,54	2,39
Países emergentes	8,30	6,00	1,66	5,14	6,03	6,38	6,58	6,64
En desarrollo	10,59	7,58	6,20	7,35	8,12	8,41	8,56	8,49
BRIC*	26,72	23,52	-3,25	7,41	7,45	7,48	7,51	7,54
Países G-20	11,17	8,59	3,29	3,34	3,39	3,44	3,49	3,55
ASEAN-5	6,27	4,75	0,72	4,01	4,68	5,37	5,91	6,03

ASEAN-5 (WEO) formada por Indonesia, Malasia, Filipinas, Tailandia y Vietnam.

BRIC: Brasil, Rusia, India, China

Fuente: WORLD ECONOMIC OUTLOOK (2009)

En la India (2002) el patrón de consumo de diesel era de 36 Mt. (Ministerio de Petróleo y Gas Natural, 2002). Además de las emisiones que este carburante produce, que hicieron que en determinados momentos fuera necesario prohibir su uso en Nueva Delhi (India), el aumento de las importaciones debidas a la demanda (Tabla 15), afecta de manera importante a la economía del país y a su desarrollo. La única solución por tanto es acudir a los biocarburantes que se pueden producir internamente. En concreto el biodiesel que puede mezclarse con combustible fósil.

Tabla 15-. Evolución de la producción e importación de petróleo en la India (Mt)

Año	Producción	Importación	Total	Importación %
1971	6,8	11,7	18,5	63
1981	10,5	16,2	26,7	61
1991	33	20,7	53,7	39
2001	32	57,9	89,9	64
2002	32	73,5	105	70

Fuente: INDIA (2002)

En la mayoría de los países desarrollados el biodiesel se produce a partir de soja, colza, girasol y cacahuete, pero en la India estos son productos que forman parte de la dieta, por lo que no es deseable la competición entre ambos fines. Por ello, se ha identificado la *J. curcas* L. como una fuente potencial debido a su rápido crecimiento, alta productividad de las semillas, adaptación a los ambientes tropicales y subtropicales y que los motores no requieren ninguna preparación para su uso. El rendimiento de la cosecha de esta planta varía de 7,5 a 12 t/ha/año tras 5 años de crecimiento.

Una planta de biodiesel en la India es realmente interesante ya que, además de ser rentable económicamente por el beneficio que se obtiene también a partir de los subproductos, reuniría los siguientes requisitos:

- Opera de forma sencilla,
- Presenta bajo coste tecnológico,
- Presenta tiempo de reacción corto.

Si se añade biodiesel al diesel en una proporción del 20%, se ahorrarían 7,3 Mt. de diesel anuales. Para ello son necesarias 33 Mha de tierras marginales para el cultivo de *J. curcas* L, que de hecho existen. La instalación de plantas productoras de biodiesel además ayudaría a crear empresas agrícolas y empleo rural (Neelakantan, 2002).

La India lanzó en abril de 2003 la Misión Nacional sobre Biocarburantes²³¹ como respuesta a las preocupaciones económicas, ambientales y de abastecimiento energético que resultan de estar en manos de los combustibles fósiles y la necesidad de apostar por nuevas fuentes de producción de energía (Farrel, 2006). Es importante señalar que este objetivo no es vinculante sino un punto de referencia, pero que pretende además generar empleo en zonas rurales, regeneración de áreas marginales y controlar las emisiones a la atmósfera. Para ello se pretende sembrar 400.000 ha de áreas marginales con cultivos oleaginosos no comestibles como la jatrofa. Asimismo se proponen subsidios para cubrir los costes del cultivo durante los primeros años.

No obstante, es preciso también estudiar los posibles inconvenientes que tiene esta decisión. Antes de promover de forma masiva el cultivo de *J. curcas* L. en tierras marginales²³², hay que tener en cuenta que estas pueden ser de gran importancia para las comunidades rurales más pobres por la dependencia de las mismas con diferentes propósitos. En ese sentido, algunos autores (Iyengar y Shukla, 2000) se han manifestado en contra, ya que dichas tierras son una parte importante de la subsistencia para los agricultores más pobres (Rajagopal, 2008).

Además pueden surgir conflictos por la apropiación de las zonas marginales sin implicar a las comunidades locales en la toma de decisiones, por la falta de experiencia con este cultivo, por los subsidios del Gobierno a los productores, que en general serán grandes terratenientes y por la ausencia de precios mínimos de apoyo²³³ para los cultivos energéticos, entre otros. Así, se considera que una alternativa serían los cultivos multi-propósito, anuales y de corta duración y que puedan producir simultáneamente alimento para el hombre y para el ganado o rotarse con cultivos para la producción de alimentos, de modo que incluso pequeños agricultores puedan beneficiarse de las ventajas de producir biocarburantes para el mercado.

²³¹ Tiene por objeto principalmente promocionar el cultivo de *Jatropha curcas* L. en zonas marginales del país, y lograr el 20% de mezcla para el 2012.

²³² Estas tierras están consideradas como “recursos comunes de la propiedad” (RCP) y se sabe que juegan un papel vital en la vida de los campesinos porque les proporcionan numerosos productos como alimento, madera, combustible, pienso y cubierta vegetal.

²³³ La necesidad de fijar los precios mínimos de apoyo ha sido aprobada en 2009.

La política india sobre biocarburantes fue presentada en diciembre de 2009. Proporciona unas Directrices que venían demandándose hace años. A pesar de ello, los aspectos más conflictivos permanecen sin resolver ya que no incluyen cifras ni compromisos financieros. Algunos aspectos son:

1. Las plantaciones de especies productoras de aceites no comestibles serán asumidas por el Gobierno. Los contratos de siembra en áreas marginales privadas serán asumidos a través del mecanismo de precios mínimos de apoyo. No se fomentará la siembra en áreas agrícolas.
2. Uno de los instrumentos fundamentales de esta política es que los precios mínimos de apoyo para oleaginosas se anunciarán y llevarán a la práctica con una provisión para su revisión periódica, con el objeto de asegurar un precio justo a los agricultores. Los detalles de este mecanismo serán fijados tras las consultas con las Agencias del Gobierno implicadas, Estados y otros interesados.
3. El empleo proporcionado en las plantaciones de árboles u arbustos de especies no comestibles será objeto de cobertura bajo el “Programas de Garantía de Empleo Nacional Rural”.
4. El Precio Mínimo de Adquisición para el biodiesel estará ligado al precio del diesel en vigor. Incentivos financieros, incluyendo subsidios y ayudas, se considerarán como méritos para productos nuevos y de 2ª generación.
5. El bioetanol y el biodiesel ya están exentos del 16% de impuestos, por lo que no se proponen nuevas exenciones para estos productos.
6. No se permitirá la importación de ácidos grasos libres para la fabricación de biocarburantes.

Se calcula que la capacidad de la India para procesar biodiesel es de 600.000 t/año. El Gobierno tiene la intención de fijar el precio de adquisición por las compañías de comercialización en 0,53 Euros²³⁴.

²³⁴ Equivalente a 34 rupias.

3.1.3.2.3. Brasil

En Brasil la crisis del petróleo de los años 70 tuvo una fuerte repercusión, por lo que en 1975 se encauzó el proyecto “Pro-alcohol”, cuyo objetivo era la sustitución total de los combustibles de origen fósil. La alternativa propuesta era el bioetanol proveniente de la melaza de la caña de azúcar. Esta nueva industria permitió la creación de casi un millón de puestos de trabajo, repartidos en más de 700 destilerías, en instalaciones complementarias, en redes de transporte y fabricación de motores específicos para estos combustibles.

Entre 1973 y 1990 se basó en cuatro conceptos:

1. un volumen de compras garantizadas de etanol por parte de PETROBRAS, la empresa nacional del petróleo.
2. un precio garantizado para el etanol.
3. el establecimiento de incentivos a la inversión en nuevos centros de producción, mediante la concesión de tipos de interés preferentes.
4. una subvención a la compra de vehículos impulsados por etanol puro (Delaunay, 2007).

El éxito de los vehículos "flexifuel"²³⁵, en conjunto con el uso obligatorio a nivel nacional de 25% de alcohol mezclado con gasolina convencional (gasohol E25) para los vehículos de motor a gasolina, permitieron que el consumo de etanol superase el consumo de gasolina a partir de febrero de 2008²³⁶.

La caída de los precios del petróleo en 1986 hizo que el apoyo a los precios de compra del etanol resultase insoportable para las finanzas públicas y se eliminaran las subvenciones. Las principales modificaciones introducidas en el programa ProAlcohol pueden resumirse en:

- la orientación hacia el sistema de mezcla, mediante la supresión de las ayudas específicas para la adquisición de vehículos impulsados por etanol puro.

²³⁵ Vehículo adaptado a funcionar indistintamente con gasolina o con una mezcla de gasolina y etanol.

²³⁶ Agência Nacional do Petróleo, Gas Natural e Biocombustíveis (ANP): consumo de álcool combustível é 50% maior em 2007. Invertia.

- la concesión de ventajas fiscales a favor del etanol.
- la puesta en marcha por parte del Ministerio de Agricultura, de un mecanismo de apoyo al almacenamiento del alcohol en fábrica (ayudas oficiales en forma de créditos con tipos de interés subvencionados, que en 2004 ascendieron a 170 M\$²³⁷), para estabilizar los precios del alcohol (e indirectamente del azúcar) (Delaunay, 2007).

Hoy en día Brasil ocupa una posición destacada en la investigación, producción y comercialización de los biocombustibles. Con unos 13,25 Mt, es el primer productor mundial de etanol, seguido por los EE.UU. y gracias a décadas de investigación, a la contribución de varios investigadores y a una gran dosis de perseverancia.

Brasil tomó sus opciones, convencido de las posibilidades de transformación social propiciadas por los biocombustibles. Se trata de un sector de la economía que está en franca expansión, con muchos obstáculos que ya han sido vencidos y otros que deberán ser superados en el futuro. Tanto el Gobierno como el sector privado brasileño tienen clara conciencia de la complejidad de los desafíos que deben ser enfrentados para que la utilización de los biocombustibles continúe avanzando con miras a promover el desarrollo brasileño de modo económicamente sostenible, socialmente justo, y ambientalmente correcto.

No se trata exclusivamente de crear empleos rurales, dado el alto grado de mecanización que predomina actualmente en la industria agraria brasileña. Se trata, sobre todo, de empleos en los sectores secundario y terciario, es decir, en las fábricas y destilerías, así como en otros sectores que integran la cadena productiva de los biocombustibles, tales como los sectores productores de abonos y fertilizantes.

En relación con el impacto ambiental del uso de “Pro-alcohol” hasta el presente, la mezcla de etanol con la gasolina, sumado a la sustitución del aceite combustible por el bagazo²³⁸ en la industria de la caña de azúcar, evitó la emisión de aproximadamente 675 Mt. CO₂eq. Igualmente representa un

²³⁷ Equivalente a 130,7 M€

²³⁸ Residuo de materia una vez extraído el jugo.

ahorro significativo de divisas y contempla beneficios sociales. Uno de los objetivos del Programa Brasileño de Biodiesel es el apoyo a familias necesitadas. Uno de los puntos más relevantes es el “Sello Verde”, mecanismo que ofrece incentivos tributarios diferenciados a las empresas que emplean materias primas producidas por agricultores familiares en las regiones más pobres de Brasil.

De esta manera, la utilización de biocombustibles en Brasil está basada en una amplia concepción de desarrollo sostenible en sus dimensiones tecnológica, socio-económica, y ambiental. Los biocombustibles constituyen una oportunidad para que el Gobierno y el sector privado puedan trabajar unidos buscando mejorar la condición de vida de un sector significativo de la población brasileña (Brasil, 2010).

El fuerte apoyo del Gobierno brasileño a los biocombustibles se manifestó claramente en 2008, en plena crisis por el alza de los precios de los alimentos²³⁹.

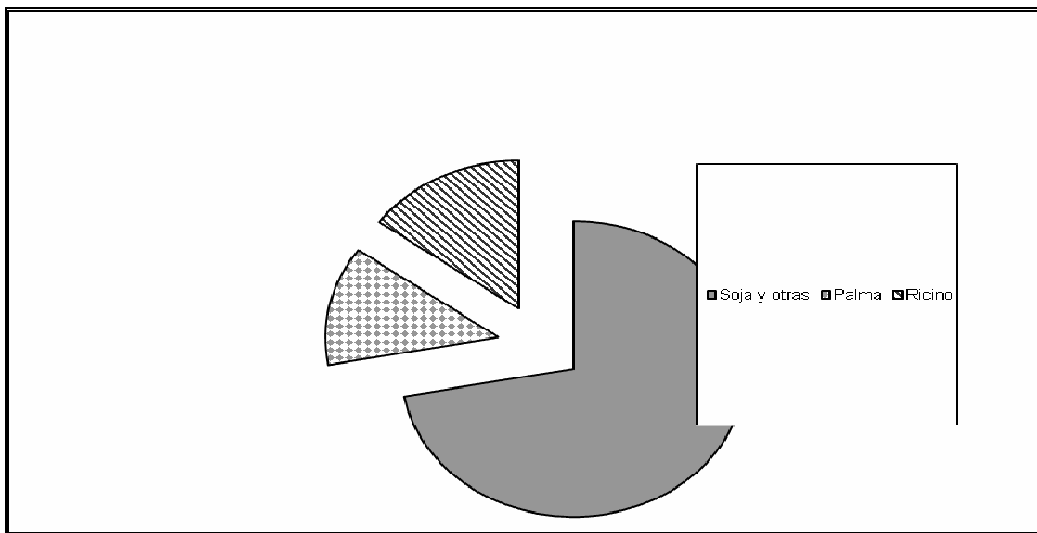
En 2003, Brasil puso en marcha un programa de desarrollo de biodiesel, cuya producción rondó las 750 000 t. en 2008, año en que se adoptó un porcentaje obligatorio de mezcla del 2 %. La idea de este programa es reducir el consumo de petróleo y las emisiones de CO₂, además de generar empleo en las regiones rurales más depauperadas del país; El objetivo consiste en incorporar ésteres metílicos de aceite vegetal al carburante diesel. El principal aceite vegetal utilizado para la producción del biodiésel se obtiene básicamente de la soja (Gráfico 9), de la que Brasil es el segundo productor mundial, aunque se están estudiando igualmente otras materias primas, como el ricino y la jatrofa.

El Estado de Minas Gerais (Brasil) conjuntamente con otros Estados, están desarrollando cultivos de *J. curcas* L con éxito. En ese sentido, se debe

²³⁹ Conferencia de Alto Nivel de la FAO (Roma-2008) Brasil insiste en el enorme potencial de los biocombustibles. Ellos son decisivos en el combate al calentamiento global. Y pueden jugar un rol importantísimo en el desarrollo económico y social de los países más pobres. Los biocombustibles generan ingresos y empleos, sobre todo en el campo, al mismo tiempo que producen energía limpia y renovable. Y por ello veo con espanto las tentativas de crear una relación de causa y efecto entre los biocombustibles y el aumento de los precios de los alimentos. Es curioso: son pocos los que mencionan el impacto negativo de los precios del petróleo sobre los costes de producción y transporte de alimentos.

destacar el trabajo en conjunto²⁴⁰ que profesionales independientes, empresas privadas, Universidades y empresas del Estado llevan a cabo, brindándose mutuamente una retroalimentación de informaciones, tanto en genética como en aspectos técnicos. Brasil es un país donde la administración y los empresarios se comprometen muy seriamente para el desarrollo de este cultivo energético como alternativa para la obtención de biodiesel.

Gráfico 12.- Distribución de la capacidad autorizada de producción de biodiesel por materia prima en Brasil.



Fuente: ANP (2006)

²⁴⁰ En 2007, Global Agricultural Resources (GAR) firmó un convenio de colaboración con el “Instituto Volta ao Campo” (IVC) del estado de Minas Gerais (Brasil) para el cultivo de *Jatropha curcas* L. El contrato estipula que se plantarán entre 40.000 y 60.000 has en total hasta el año 2011. El IVC también se ha comprometido a planear otras 100.000 has para el cultivo de jatrofa entre los años 2012 y 2022. El período del contrato es de al menos 15 años de cosecha, y se puede extender por al menos otros 15 años, de mutuo acuerdo entre las partes. Nueve cooperativas, de las que forman parte cientos de agricultores locales, participarán en el proyecto. Se estima que las actividades de investigación proyectadas en conjunto por GAR y el IVC deberán mejorar la semilla específica de la región, conduciendo a un rendimiento más alto en los próximos años. GAR dirigirá también la extracción y el procesamiento del producto final. Toda la materia prima está siendo producida por cooperativas de agricultores en la región del Triangulo Minero. A través del proyecto los agricultores reciben entrenamiento y asesoría para el cultivo de la planta. La propuesta es que en el plazo de tres años se inicie la producción de biodiesel a partir del aceite de la nuez purgante (*Jatropha curcas* L), que actualmente se destina a: Cosméticos (40%); Alimentos (24%); Síntesis de resinas, ésteres (18%); Farmacéuticos (7%) y otros (11%) (Anuario Brasileiro do Biodiesel, 2010).

3.1.3.3. OCDE, FAO y otras Organizaciones de las Naciones Unidas

3.1.3.3.1. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE)

Muchos países tanto miembros de la OCDE como fuera de ella, debido a las fluctuaciones del precio del petróleo y a la necesidad de adoptar medidas para controlar el calentamiento global, están promoviendo fuertemente desde hace unos años el uso de combustibles alternativos para el transporte a partir de cultivos agrícolas. EE.UU., Canadá y la UE invierten grandes cantidades de dinero en investigación de nuevos biocombustibles y hemos visto que, por su parte, Brasil lleva décadas apostando por el bioetanol.

En el año 2007, la OCDE, con objeto de proporcionar a los responsables de la toma de decisiones, datos y análisis sobre la bioenergía, presentó un breve informe en el que se planteaban una serie de preguntas a raíz de la fuerte apuesta de los Gobiernos de países industrializados por los biocombustibles. Así se preguntaba si realmente estos cubrirían las expectativas que se habían depositado en ellos y si las políticas públicas que se estaban adoptando, realmente serían eficaces para lograr el objetivo perseguido. El informe viene a decir que hay una serie de aspectos que no se han tratado suficientemente. En línea con lo que afirma la UE en sus estrategias, reconsidera que se precisa más investigación sobre los aspectos económicos de los biocarburantes y su relación con los mercados agrícolas, sobre los costes ambientales y los posibles beneficios de la producción de biocarburantes según los diferentes cultivos utilizados y sobre un amplio rango de otras alternativas energéticas, especialmente aquellas que pueden acelerar el desarrollo científico y tecnológico de los biocombustibles de "2ª generación (OCDE, 2007).

En el año 2008 la OCDE publicó dos informes adicionales en relación con este tema: (1) sobre *“Políticas de Apoyo a los biocombustibles: Evaluación Económica”*, tenía por objeto hacer una revisión de la situación en el ámbito de los países desarrollados y (2) elaborado conjuntamente por la OCDE y la AIE que analiza las implicaciones de este apoyo desde diferentes perspectivas y demuestra que el apoyo político contribuye poco a los objetivos que persiguen

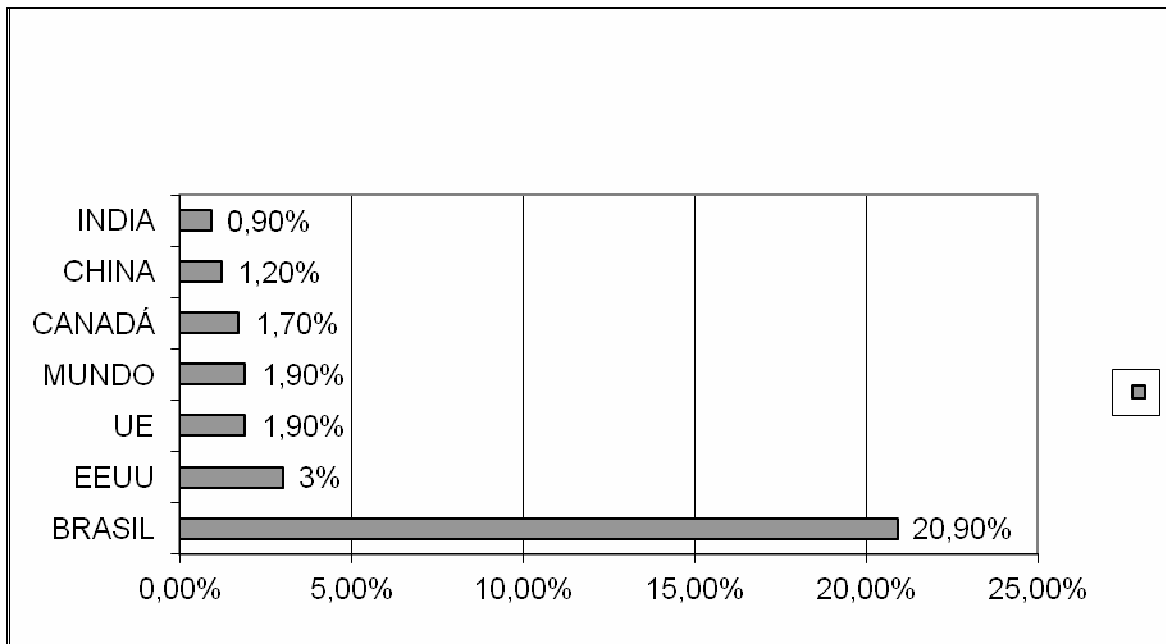
los Gobiernos de reducción de las emisiones de GEI, mientras que añade factores que provocan el aumento de los precios de los productos agrícolas.

Los biocombustibles, producidos a partir de cultivos como caña de azúcar, maíz y oleaginosas, han sido presentados como una fuente de energía capaz de reducir las emisiones de GEI al tiempo que representarían mayores ingresos para los agricultores. Pero, uno de los capítulos del documento bajo debate en la OCDE plantea abiertamente el interrogante de saber si "es peor el remedio que la enfermedad". El texto reflexiona sobre un posible encarecimiento de los precios de los alimentos sin que la producción de estos biocombustibles beneficie sustancialmente al medio ambiente. Agrega que, al mismo tiempo, podría representar un impacto negativo desde el punto de vista ecológico, si ecosistemas naturales como bosques o praderas, comienzan a ser usados para cultivos destinados a la producción de estos.

El documento advierte sobre las posibles desventajas en el uso extendido de los biocombustibles. Del texto se desprende que los beneficios de carburantes como el etanol y el biodiesel son muy limitados si se tiene en cuenta la escasez de alimentos y la amenaza a la biodiversidad que generarían. Incluso viene a afirmar que: *"El rápido crecimiento de la industria de los biocarburantes mantendrá verosímilmente altos los precios de los alimentos en la próxima década"*.

El informe concluye que existen alternativas a las actuales políticas de apoyo a los biocombustibles que serían más efectivas para lograr más eficientemente que los Gobiernos alcancen sus objetivos de reducción de emisiones. Estas alternativas incluyen: actividades adicionales para reducir la demanda de energía y las emisiones de GEI y para mejorar la eficiencia energética; la apertura de los mercados para permitir un comercio más libre en fuentes eficientes de biocarburantes, incluyendo los que proceden de países tropicales; mayor uso de la biomasa para la generación de energía e investigación adicional sobre biocombustibles para lograr fuentes más eficientes como la celulosa y la biomasa (OCDE., 2008).

Gráfico 13.- Porcentaje de producción de biocombustibles para el transporte en términos energéticos



Fuente: EEB (2008), LICHT (2007) y AIE (2009)

En el Gráfico 13 podemos observar el esfuerzo comparativo en cuanto a producción de biocarburantes para el transporte en las economías más destacadas.

El texto producido por la OCDE acepta como posible "en teoría" el escenario ideal de tener para 2050 un mercado de combustibles líquidos con su cuarta parte compuesta por biocarburantes. No obstante, sugiere que la estimación del 13% que hizo la AIE es el pronóstico más "realista" que se puede hacer para esa fecha.

En noviembre de ese mismo año 2008, la OCDE publicó otro informe denominado "*Desarrollo de la producción de Bioenergía en el mundo, electricidad, calor y biocarburantes de 2ª generación*". En él se resumen y comparan los parámetros tecnológicos y los costes de la energía producida a partir de aceite de palma y de jatrofa, para los tres usos mencionados, pero sin analizar a su vez aspectos ambientales o sociales (OCDE, 2008).

La OCDE con frecuencia y más especialmente en aspectos relacionados con la agricultura, como es la producción de biocarburantes, presenta informes conjuntos con la FAO. Así, en 2007 se presentó el “Agricultural Outlook Report, 2007- 2016”²⁴¹.

El informe afirma que el crecimiento económico global se sustenta en los países emergentes como China, India y Brasil que son fundamentales en el mercado agrícola mundial. Se espera que los países fuera de la región de la OCDE continúen la tendencia de un mayor incremento del consumo de productos agrícolas que los de la región OCDE, ya que dicha tendencia viene regida por el aumento de población y por la migración de las áreas rurales a las urbanas. Este fuerte crecimiento de la demanda, se supone que provoca aumento de las importaciones y de la producción interna, pero de hecho se observa además aumento de las exportaciones desde los países en desarrollo, lo que provocará pérdida de producción en el mundo desarrollado. Así, el aumento del uso de cultivos agrícolas para la producción de biocarburantes es uno de los principales objetos del informe y una de las principales razones de que los precios internacionales de los productos agrícolas cobren una relevancia especial. Sin embargo, el informe también considera que las nuevas tecnologías, los cambios en las políticas públicas o las variaciones inesperadas del precio del crudo, puedan alterar significativamente el desarrollo y las prospecciones en el futuro (OCDE-FAO, 2007).

En 2011, se ha presentado la 4ª revisión conjunta OCDE-FAO. En el informe se ponen de manifiesto algunas observaciones importantes:

1. En relación con la evolución de los mercados: en 2010 se incrementaron los precios del bioetanol en un 30% debido a un nuevo repunte de los precios de las materias primas, es decir de los cultivos energéticos de los que se obtiene. Asimismo, por primera vez, EE.UU. se convirtió en exportador neto de este biocombustible por los precios más competitivos del maíz, en contraste con el

²⁴¹ Este informe supone la tercera revisión conjunta de ambas Organizaciones sobre la evolución de la agricultura y proporciona una evaluación a medio plazo de las perspectivas futuras de los mercados de productos agrícolas. Se trata de una revisión sobre la situación de los cultivos más importantes y, aunque se publica anualmente, la importancia de este radica en que por primera vez se incluyó el tema de los biocombustibles.

descenso de las exportaciones de Brasil por el aumento de precios de la caña de azúcar. Se produjo también un aumento del precio del biodiesel por el aumento de precios de los cultivos oleaginosos, pero bastante más moderado.

2. Las proyecciones más destacables afirman que en el período previsto en el informe los precios se mantendrán firmes por las políticas de promoción de los biocombustibles. Si bien la producción en muchos países será incierta, EE.UU. se mantendrá como el mayor productor y consumidor de bioetanol. En cuanto al diesel, no parece que vaya a tener lugar la producción a gran escala de los nuevos cultivos energéticos como la cassava o la jatrofa.

3. En cuanto a los cultivos energéticos, para bioetanol se calcula que para 2020 se utilizará para la fabricación de biocombustibles el 12% de la producción de grano, en comparación con el 11% del período 2008-2010. Para ese mismo año se espera que se utilice para la producción de biodiesel el 16% de los cultivos oleaginosos, en comparación con el 11% utilizado entre 2008-2010. En los países desarrollados el porcentaje de biodiesel de cultivos energéticos bajará del 85% actual al 75% para 2020 mientras que llegará al 15% el biodiesel obtenido de otras fuentes (grasas animales o residuos). En los países en desarrollo, las principales fuentes continuarán siendo el aceite de palma y el de soja.

3.1.3.3.2. Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO)

La FAO por su parte, publicó en 2008 un informe muy completo denominado “El Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación. Biocombustibles: perspectivas, riesgos y oportunidades” (FAO, 2008). El informe reconoce que una combinación de factores es lo que ha provocado un aumento de los precios de los alimentos en esta década hasta los niveles más elevados desde los años 70, con graves consecuencias para el abastecimiento de alimentos de los pobres de todo el mundo. Pero, al parecer, uno de los factores causantes es el crecimiento del uso de productos básicos agrícolas para la producción de biocombustibles, que evidentemente ha provocado un intenso debate global, al igual que su capacidad para luchar contra el cambio climático, por lo que es

esencial evaluar cuidadosamente sus riesgos y oportunidades. El informe sostiene que en la próxima década, los biocombustibles, aparte de compensar solamente una parte muy limitada del consumo de energía fósil, tendrá importantes repercusiones para la agricultura y la producción de alimentos.

Por otra parte, el informe reconoce que los biocombustibles son solamente uno de los factores que causan aumento de precios de productos agrícolas y que no podemos olvidarnos de los desastres naturales provocados por las fuertes variaciones climáticas, el descenso de las reservas mundiales de cereales, el aumento del coste de los combustibles, el aumento de la población, los cambios que provoca el aumento de la demanda asociada al crecimiento de los ingresos, como ocurre en las economías emergentes y las fluctuaciones de los tipos de cambio.

En cuanto a la capacidad de los biocombustibles para reducir las emisiones de GEI, el informe considera que varía de manera importante en función del lugar, el método de producción y del cultivo que se utilice como materia prima. En muchos casos además, el aumento de emisiones que se produce como consecuencia del cambio del uso de la tierra puede contrarrestar e incluso superar los ahorros esperados por la sustitución de los combustibles fósiles. Se espera, no obstante algo más de los combustibles biológicos de 2ª generación que, a largo plazo, pueden tener beneficios adicionales.

Para no perjudicar a los países en desarrollo, el informe recomienda evitar políticas como la prohibición a las exportaciones y los controles de precios directos que pueden empeorar y prolongar la crisis a través del bloqueo a los incentivos de precios para los agricultores, lo que repercutiría en la producción. Igualmente sugiere que se revisen las políticas de ayudas, subvenciones y mandatos en relación con la producción y uso de biocarburantes ya que hay que asegurarse previamente de que realmente contribuyen a la reducción de las emisiones de GEI y no tienen otros efectos ambientales negativos, como puede ser la pérdida de biodiversidad.

Asimismo, el informe recomienda el establecimiento de criterios de sostenibilidad que deben evaluarse y aplicarse cuidadosamente para no

provocar barreras adicionales al comercio u otros obstáculos para los países en desarrollo, dispuestos a aprovechar las oportunidades de los biocombustibles (FAO, 2008).

3.1.3.3.3. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)

El PNUMA presentó un informe (PNUMA, 2009), elaborado por su recientemente creado “Panel Internacional para la Gestión Sostenible de los Recursos”, en relación con la sostenibilidad de los biocombustibles. El informe establece que es preciso adoptar un enfoque mucho más sofisticado cuando se desarrollan los biocombustibles como una opción energética respetuosa con el medio ambiente. Así, considera que los Gobiernos deben situar estos combustibles alternativos en su estrategia general sobre energía, clima, agua y agricultura, si se quiere obtener un beneficio socioeconómico y ambiental en conjunto (PNUMA, 2009).

El informe que es el primero que emite el PNUMA sobre gestión de recursos, es una extensa revisión de la literatura y así, considera un amplio conjunto de puntos de vista de expertos de todo el mundo y realiza un análisis de los problemas más importantes y de las perspectivas que existen para la producción sostenible y el uso de la biomasa con fines energéticos. Compara además su uso moderno con la utilización tradicional para obtener calor y energía. Se centra especialmente en los biocombustibles de 1ª generación y afirma que algunos de ellos como el bioetanol procedente de la caña de azúcar, pueden tener un impacto positivo en términos de emisiones de GEI, como en Brasil que ha podido conducir a una reducción del 70%, al sustituir a la gasolina. Así, la forma en que se producen es determinante para el balance de emisiones ya que puede haber grandes diferencias. En el caso de la producción de biodiesel a partir de aceite de palma cultivado en tierras deforestadas, por el contrario, incrementaría las emisiones en el 2000% cuando se compara con el uso del combustible fósil, debido a la liberación del carbono que estaba retenido en el suelo, pero podría tener un impacto positivo si el cultivo se realiza en tierras degradadas.

El informe tiene por objeto ayudar a los países en la toma de decisiones en relación con esta materia. Parece ser que el debate se centra en elegir el cultivo energético y donde cultivarlo, y en la forma en que los diferentes países y las compañías promueven y gestionan la producción y conversión de material vegetal para sus fines energéticos ya que, como he señalado, algunos enfoques son muy cuestionables.

Los aspectos más destacables del informe del PNUMA son:

1. La bioenergía considerada en términos de uso tradicional de la biomasa en una parte más del mix energético.
2. La sostenibilidad a largo plazo del sector bioenergético, puede lograrse solamente con políticas sensatas que consideren un amplio rango de factores como el crecimiento de la población, la mejora de las cosechas, los cambios en los patrones alimenticios y el cambio climático.
3. Los biocarburantes pueden jugar un papel importante en el logro de objetivos políticos, pero no todos se comportan igual en cuanto a su impacto sobre la prevención del cambio climático, el abastecimiento de energía y los ecosistemas. Los posibles impactos deben evaluarse a lo largo de todo su ciclo de vida.
4. Como se espera que se incremente la demanda global de estos compuestos, podemos producir un impacto ambiental negativo por el cambio de los usos del suelo, tales como pérdida de biodiversidad e incremento de emisiones de GEI.
5. El agua es un factor limitante en términos de calidad y cantidad.
6. Tenemos a nuestra disposición medios para llevar a cabo una producción más eficiente y sostenible de la biomasa y así reducir la presión ambiental.
7. Se puede dar una producción sostenible de biocombustibles cuando se ponen en marcha estrategias que incrementen la productividad de los recursos ya que algunas pueden tener un comportamiento ambiental adecuado y producir beneficios sociales.

3.1.3.3.4. UNIDO (Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial)

Esta organización celebró en el año 2007 por primera vez un Seminario de alto nivel sobre “Biocombustibles en África”, con el objeto de revisar posibles estrategias en este ámbito para combatir la pobreza energética, de acuerdo con su mandato. El marco para la celebración del mismo fue la “Estrategia 2004-2007 para África”, que, entre otras cosas contempla la elaboración de una política sobre energías renovables. En la Tabla 16 se muestra la comparativa de consumo energético entre el mundo desarrollado, países en desarrollo y la región más deprimida de África (Subshariana).

De las conclusiones del seminario es importante reseñar lo siguiente:

Contexto:

- El acceso a la energía es un requisito previo para el desarrollo sostenible.
- Las renovables, en muchos casos son una opción viable para el desarrollo de la red eléctrica rural y para aumentar la seguridad energética.
- El ligar la energía rural a los usos productivos puede crear oportunidades de empleo, aumentar el nivel de salarios, mejorar la calidad de vida en las áreas rurales y proteger el medio ambiente.
- Los biocombustibles pueden contribuir a la concreción del mandato de la UNIDO de combatir la pobreza energética para promover el desarrollo industrial sostenible.
- Los aspectos clave para esta Organización son el desarrollo de proyectos y programas de transferencia de tecnología, capacitación y disseminación de la información.

Tabla 16.- Comparativa de usos energéticos

	Consumo combustible tradicional (% energía requerida)	Consumo eléctrico per capita (Kwh./año)	PIB por unidad de uso energético	Emisiones de CO₂ per capita (tn.)
Países en desarrollo	26,3	1157	4,7	2,2
Africa Sub-sahariana	81,2	522	2,7	0,8
OCDE	4,6	8777	5,3	11,2
Mundial	21,7	2490	4,7	3,7

Fuente: UNDP Human Development Report (2006)

Evidencias:

- Existe una brecha creciente entre la demanda y el aporte de energía en la mayoría de los países menos desarrollados, especialmente en África.
- Los combustibles tradicionales, fundamentalmente la biomasa, aporta el 80% de la energía y en la mayoría de los casos de forma poco sostenible e insegura.
- Existe una relación estrecha entre energía y desarrollo, así como entre consumo energético e índice de desarrollo.
- Para los países menos desarrollados, las renovables ofrecen la oportunidad de cambiar a formas más modernas de producción de energía y reducir su dependencia de la importación de los combustibles fósiles.
- Los biocombustibles en particular ofrecen un amplio rango de elecciones y oportunidades para cubrir las crecientes demandas de energía, especialmente en el medio rural en África.
- Los biocombustibles están disponibles en diferentes formas en la mayoría de los países africanos y si se tratan adecuadamente, pueden jugar un papel importante en la implantación energética en los pueblos africanos.
- Los biocombustibles que se basan en sistemas energéticos rurales pueden ayudar a combatir la pobreza energética

- Las nuevas tecnologías como la bio-gasificación pueden aumentar la electrificación rural y la generación de calor en las pequeñas y medianas empresas (PYMES), mientras que el etanol y el biodiesel pueden llenar la creciente demanda del sector del transporte en estos países.
- La UNIDO puede asistir a los países a sacar el máximo beneficio de la cadena de valor de los biocarburantes (UNIDO, 2007).

Por su parte, el Centro Internacional de Ciencia y Alta tecnología (ICS) de la UNIDO, está dirigiendo su atención a la producción de la “próxima generación” de biocombustibles obtenidos a partir de los residuos, de la biomasa no destinada a la alimentación animal como restos ligno-celulósicos, de los residuos forestales y de las algas. Los subproductos que se obtienen en estos procesos, como la lignina, el glicerol y ciertos azúcares, también presentan un interés considerable para la producción de biocombustibles y la fabricación de productos químicos.

La producción de sustancias químicas a partir de productos biológicos debería complementar otros procesos como los de las biorefinerías que muchos están viendo como el futuro de la industria química.

Las actividades del programa de biocombustibles del ICS, se ha concentrado en la investigación de métodos catalíticos para la hidrólisis de la lignocelulosa para producir azúcares, bio-hidrógeno, biodegradación de la lignina para fabricar bloques de polímeros, transesterificación de triglicéridos para fabricar biodiesel y algunas sustancias químicas. Una contribución importante a estas actividades de investigación viene de la implicación de jóvenes científicos de países en desarrollo dentro del programa de formación del ICS. En la implementación de todo esto y más en la creación de una red, se le da una importancia especial a la colaboración potencial con laboratorios de África, Iberoamérica, China, India, Sudeste asiático y otros (ICS-UNIDO, 2009).

3.2. CARACTERIZACIÓN BOTÁNICA DE LA *Jatropha curcas* L.

3.2.1. Taxonomía y descripción del género

3.2.1.1. Genero *Jatropha*

La familia de las *Euphorbiaceae* comprende más de 7000 especies entre las que se encuentran algunas de las que se obtienen productos de gran interés económico como el caucho (*Hevea brasiliensis*), aceite de ricino (*Ricinus communis* L.), aceite de tung (*Aleurites fordii*) o casava (*Manihot esculenta*) (Sujatha et al., 2008).

El rango de variación morfológica de la familia es enorme y es por tanto difícil de caracterizar. Sus representantes incluyen árboles, arbustos y menos frecuentemente hierbas, con látex de diversos colores. Los géneros de mayor interés son: *Euphorbia* (1500 sp), *Croton* (700 sp), *Phyllanthus* (400 sp), *Acalypha* (400 sp), *Macaranga* (250 sp), *Antidesma* (150 sp), *Drypetes* (150), *Tragia* (150), *Jatropha* (175), *Manihot* (150) y *Ricinus* (72), entre otros. (Pabón, 2008).

Jatropha es un género de la familia de las *Euphorbiaceae*, de aproximadamente 175 especies suculentas, arbustos y árboles; algunos son de hoja caduca, como *Jatropha curcas* L.

Las plantas de este género, determinado por Linneo (1753-1754), crecen de forma nativa en África, Norteamérica, y en el Caribe. Las especies más importantes son:

- *Jatropha cuneata*, usada para hacer canastos por el pueblo indígena Seri en Sonora (México)²⁴². Las varas son sometidas a un proceso de calentamiento, división longitudinal y lavado. El color rojo de las canastas se debe a un colorante extraído de la planta *Krameria grayi* (Kartesz, 1994).
- *Jatropha curcas*, usada desde hace mucho tiempo para extraer de sus semillas el "aceite de jatropha", no comestible, materia prima que se ha

²⁴² El pueblo Seri denomina a esta especie *Haat*

utilizado para fabricar jabón o velas. La cáscara exterior del fruto es de color verde; cuando se vuelve amarillenta, las semillas están listas para ser recolectadas. Su contenido en aceite es del 40 %. Se han señalado diversas aplicaciones medicinales de la planta: aceite en el tratamiento de tumores, o savia e infusiones de las hojas como *antipiréticos* (Heller, 1996). Grupos de autoayuda de mujeres y de *microcrédito*²⁴³ han impulsado durante años este cultivo con estos fines. En la actualidad, existen planes a gran escala para la obtención de *biodiesel* a partir de las semillas de la especie *Jatropha curcas* L., en países como la India, Ghana, Madagascar o Filipinas.

- *Jatropha integerrima* planta ornamental con espectaculares flores rojas. Es muy popular en Cuba y en el Sur de Florida (EE.UU.). Presenta escasos requerimientos y funciona muy bien como planta ornamental cerca del mar, ya que tolera bien los ambientes salinos. La floración se da durante un largo periodo especialmente en clima cálido (Wunderlin *et al.*, 2002).
- *Jatropha multifida*, árbol coral. Se trata de un árbol de pequeño porte. Sus hojas tiernas son comestibles y se consumen como verduras en México. Las inflorescencias son pequeñas y poseen una coloración rosa coralina o anaranjadas que brotan agrupadas en el ápice de un tallo sin hojas lo que sucede a lo largo del verano (Wunderlin *et al.*, 2002).
- *Jatropha podagrica* fue usada para producir un tinte rojo en México y el suroccidente de EE.UU. Puede ser usada como planta casera ornamental.²⁴⁴

Otras especies descritas más recientemente son:

Jatropha stephani. Este taxón pertenece a la subsección Loureira por tener corteza amarilla y exfoliante (Jiménez, 1991).

²⁴³ Sistema de microfinanzas que permite a las mujeres emprendedoras en las áreas rurales montar pequeños negocios. Son asociaciones de un mínimo de seis mujeres que abren una cuenta de ahorros común y se prestan dinero a una tasa "plana" de interés. La solvencia que puedan demostrar les abre después las puertas a microcréditos bancarios, como los que ofrece el Banco Nacional para la Agricultura y el Desarrollo Rural (NABARD), ligado a muchos de estos grupos en la India. Desde su nacimiento, se han formado más de seis millones de grupos de autoayuda en la India rural, que han beneficiado a unos 80 millones de familias.

²⁴⁴ Disponible en www.inbio.ac.cr/jatropha

Jatropha websteri descrita en 1992, en la depresión del río Balsas en México. Es semejante a la *Jatropha andiuxi* de Argentina, pero difiere de ella en que tiene hojas más pequeñas, sépalos de la flor postilada enteros y corola color canela. Este taxón probablemente pertenece a la sección *Platyphylae* Deghan et Webster por tener estambres biseriados y frutos triloculares, aunque la presencia de carúncula²⁴⁵ grande hace difícil su ubicación (Jiménez, 1992).

- *Jatropha contrerasii* de los declives del río Petaquillas en el Estado de Guerrero (México), con características similares a la anterior por pertenecer también a la sección *Platyphylae* (Jiménez, 1994).
- *Jatropha tehuantepecana* del istmo de Tehuantepec en Oaxaca (México) (Jiménez, 1994).
- *Jatropha costarricensis*, endémica de Costa Rica.
- *Jatropha oaxacana*, especie de los Valles Centrales, la región Mixteca y el Istmo de Tehuantepec.
- *Jatropha hastifolia*. Especie originaria de Brasil que fue descubierta en el Herbario del Centro de Recursos Genéticos y Biotecnología (CEN) de Brasilia (Fernández Casas, 2003).

3.2.1.1.1. *Jatropha curcas* L. como variedad de elección

3.2.1.1.1.1. Taxonomía

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsidia
Orden	Euphorbiales
Familia	Euphorbiaceae
Género	<i>Jatropha</i>
Especie	<i>curcas</i>



²⁴⁵ Carúncula: Excrecencia carnosa de pequeñas dimensiones que se observa en la zona del micrópilo (abertura) de algunas semillas.

Fuente: Herbario. Univ. Antioquia (Colombia)

Nombres comunes, entre otros, se la denomina como: Piñón (Guatemala), Nuez purgante, Nuez de Barbados, Piñón de Tempate, Coquillo (El Salvador, Costa Rica y Panamá), Capate, Barbasco, Coquito, Piñón botija, Higos del duende, Higo del infierno (Bolivia), Purga de Fraile, Tuba-Tuba y Habb-El-Meluk.

El nombre "tempate" se deriva de un vocablo náhuatl²⁴⁶ que significa "medicina de la boca", refiriéndose al uso de la savia para curar heridas en la boca. Casi todas las partes y extractos del árbol se han usado ampliamente en medicina popular, y a la semilla se le han atribuido propiedades anticancerígenas (Cordero *et al.*, 2003).

3.2.1.1.1.2. Descripción

El nombre "*Jatropha*" deriva del griego *jatros* (doctor) y *trophos* (alimento), lo que da una idea de la importancia de esta planta como hierba medicinal. (Thomas *et al.*, 2008). El género *Jatropha* que contiene alrededor de 170 especies conocidas, pertenece a la familia de las Euphorbiaceae. Comprende dos subgéneros, *Curcas* y *Jatropha*. En concreto, el subgénero *curcas* parece ser la forma más primitiva de este género (Heller, 1996).

La *Jatropha curcas* L. se considera originaria de América Central aunque fue difundida por Asia y África por comerciantes portugueses para utilizarla como cercado. En la actualidad se ha expandido por todo el mundo tropical y subtropical (Heller, 1996)

Es una planta caducifolia fuertemente resistente a las sequías (250-600 mm. de lluvia anuales²⁴⁷), aunque para un óptimo crecimiento necesita un mínimo de 600 mm. Según el clima puede alcanzar los 8 m. entre los 3 y los 6 años,

²⁴⁶ El náhuatl o mexicano es una lengua uto-azteca que se habla en México y en América Central. Es la lengua nativa con mayor número de hablantes en México.

²⁴⁷ La lluvia se mide en mm al año que equivale al espesor de la lámina de agua que se formaría, a causa de la precipitación sobre una superficie de 1 m² plana e impermeable. Menos de 200 mm son pocos, entre 200 y 500 son escasos, entre 500 y 1.000 son normales, entre 1.000 y 2.000 son abundantes y más de 2.000 es muy elevado.

aunque generalmente es un arbusto o un árbol de pequeña talla, unos 2 m. de altura (Makkar *et al.*, 1997).

Posee una copa ancha e irregular. El tallo crece con discontinuidad morfológica y es un cilindro robusto. Su corteza es de color verde amarillento o grisacea, casi lisa, delgada como el papel y con desprendimientos en tiras horizontales. La corteza interna es blanca con rayas rojas y exuda una savia amarillenta lechosa que es muy irritante para la piel y los ojos.

Esta especie es capaz de sobrevivir en suelos pobres en nutrientes y se adapta bien a las zonas semiáridas y marginales, lo que la convierte en una especie interesante para el control de la erosión (Heller, 1996). Se propaga fácilmente. Puede vivir unos 30 años durante los cuales produce semillas con un alto contenido en aceite, del 28-36%, mientras que el grano puede contener hasta el 60% (Becker, 2007).

Las hojas son simples, alternas, con pecíolos de 5-15 cm de largo y lámina acorazonada de 7-32 cm de diámetro con tres o cinco lóbulos y de borde liso. El haz es verde, el envés de color claro y con pelillos finos.

Normalmente posee cinco raíces, una central y cuatro periféricas. Las inflorescencias se forman terminalmente en el axial de las hojas en las ramas. La madera es blanca, blanda y esponjosa y no produce una leña de calidad (Cordero *et al.*, 2003).

3.2.1.1.1.3. Composición

Como hemos comentado, las semillas de la “nuez purgante” contienen un aceite no comestible cuyo contenido en ácidos grasos puede llegar hasta el 60%. Como los aceites comestibles, la composición de los aminoácidos, el porcentaje de aminoácidos esenciales y el contenido mineral de la pasta resultante de la extracción de aceite, puede ser comparada con pastas similares utilizadas como forraje (De la Vega, 2008). En la Tabla 17 se muestra la composición físico-química de esta semilla. Contiene pequeñas cantidades

de ácido curcanoleico irritante, que está muy relacionado con el aceite de ricino y el aceite de croton (MICROMEDEX, 1974-1994).

Tabla 17.-Características físico-química de las semillas de *J. curcas* L.

Nº	Propiedades físico-químicas	Porcentaje
1	Humedad	6,20%
2	Proteínas	18,0%
3	Grasas	38,0%
4	Carbohidratos	17,0%
5	Fibra	15,50%
6	Cenizas	5,30%

Fuente: Thomas (2008)

Un análisis químico más exhaustivo de esta semilla nos revela datos obtenidos por otro autor (Patil, 2007) y que figuran en la Tabla 18.

Tabla 18.- Implicaciones de las propiedades físico-químicas

Nº	Propiedades físico-químicas	Valor	Significado
1.	Acidez	38,2	Cantidad de KOH (mg) requerida para neutralizar 1 mg de sustancia química. Medida de la cantidad de grupos carboxilos
2.	Valor saponificación	195,0	mg de KOH requeridos para saponificar 1 g de grasa bajo determinadas condiciones
3.	Valor de yodo	101,7	Masa de yodo en g. que se consume por 100 g. de sustancia química
4.	Viscosidad	40,4	Medida de la resistencia de un fluido a deformarse
5.	Ácido palmítico (%)	4,2	Uno de los más comunes a. grasos saturados que se encuentra en animales y plantas
6.	Ácido esteárico (%)	6,9	Octadecanoico. Uno de los más útiles ácidos grasos saturados
7.	Ácido oleico (%)	43,1	Ácidos graso omega-9 mono insaturado que se encuentra en animales y plantas.
8.	Ácido linoleico (%)	34,3	Ácido graso omega-6 insaturado. Líquido incoloro.
9.	Otros ácidos (%)	1,4	

Fuente: Patil (2007)

El contenido en aceite, las propiedades fisico-químicas, la composición en ácidos grasos y el valor energético de la *J. curcas* L. se han estudiado ampliamente (Banerji *et al.*, 1985; Kandpal y Madan, 1995; Kumar, 2003; Shah, 2004). Algún estudio ha demostrado que el contenido de aceite depende de la variedad, de las condiciones climáticas y principalmente de la altitud en la que crece (Pant *et al.*, 2006). Otro estudio mostró que la media del contenido de aceite de *Jatropha curcas* L. en los rangos de altitud de 400-600 m, 600-800 m, y 800-1000 m, eran de 43,19%, 42,12% y 30,66% del peso de la semilla respectivamente (Chhetri *et al.*, 2008).

Se ha encontrado que el aceite de esta planta contiene aproximadamente el 80% de ácidos grasos insaturados, entre los que domina el ácido oleico, lo que la convierte en una buena candidata para producción de biodiesel²⁴⁸ (Chetri *et al.*, 2008).

Diferentes autores han encontrado niveles similares de contenido de aceite. Pramatik (2003) observó que habitualmente el contenido de aceite varía entre el 30-50% del peso de la semilla y entre el 45-60% del peso del grano. La Tabla 19 muestra los resultados obtenidos por estos investigadores que son similares a los reportados por Gubitz (1999).

Tabla 19.- Análisis de ácidos grasos en el biodiesel de semillas de *Jatropha curcas* L. obtenidas en Nepal entre 1200 y 1400 m. de altura

Contenido	Acido graso	Cantidad (%)	% (según Gubitz <i>et al.</i> , 1999)
12:0	A. Laurico	0,31	
16:0	A. Palmítico	13,38	14,1- 15,3
16:1	A. Palmitoleico	0,88	0- 1,3
18:0	A. Esteárico	5,44	3,7- 9,8
18:1	A. Oléico	45,79	34,3- 45,8
18:2	A. Linoléico	32,27	29,0- 44,2
	Otros	1,93	otros
	Total	100	

Fuente: Chhetri *et al.* (2008)

²⁴⁸ Como la demanda de aceites vegetales ha crecido mucho en los últimos años, es imposible justificar que estos sean utilizados para la fabricación de biodiesel, por lo que resultan muy interesantes especies como la jatrofa cuyo aceite no es comestible

La cantidad y el tipo de ácido graso en el biodiesel determinan la viscosidad que es una de las características más importantes. Debido a la presencia de ácidos grasos similares, el biodiesel de jatrofa tiene una viscosidad parecida a la del aceite de cacahuete, aceite de maíz, aceite de palma y aceite de girasol. Por ello, hoy en día se la considera como la principal alternativa para el desarrollo del biodiesel. Además, el producto que se obtiene tiene similares características al diesel procedente del petróleo como se observa en la Tabla 20 (Chhetri *et al.*, 2008).

Tabla. 20.- Comparación de propiedades del diesel, aceite de jatrofa y biodiesel de jatrofa

Propiedades	Diesel	Aceite de jatrofa	Biodiesel de jatrofa
Densidad (kg/m³)	840	918	880
Viscosidad (cSt)	4,59	49,9	5,65
Poder calorífico (kJ/kg)	42390	39774	38450
Punto de ignición (°C)	75	240	170
Número de cetanos	45-55	45	50
Residuo de carbono	0,1	0,44	No disponible

Recientemente se ha estudiado el desarrollo del proceso de obtención del biodiesel de *J. curcas* L. debido a la necesidad de disminuir el contenido de ácidos grasos libres (Berchmans *et al.*, 2008). Se comparaba la obtención de biodiesel a partir de aceite crudo de jatrofa, aceite de palma y aceite de coco. En el proceso de transesterificación catalizado por una base, la presencia de una alta concentración de ácidos grasos libres (AGL), como la que existe habitualmente en la jatrofa que puede ser del 15% (Tabla 21), reduce la producción de esteres de metilo de una forma importante, ya que no debe superar el 2%.

Tabla 21.- Resultados analíticos de AGL de aceite de jatrofa, palma y coco

Aceite	AGL (%)	Ácido Místico (%)	Ácido Palmítico (%)	Ácido Linoleico (%)	Ácido Oleico (%)	Ácido Esteárico (%)
Aceite Jatrofa	14,9	0,0	2,4	6,9	5,4	0,2
Aceite Palma	6,1	0,2	2,6	2,5	0,5	0,3
Aceite Coco	1,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2

Fuente: Berchmans *et al.* (2008)

De este modo, se ha ideado un proceso de transesterificación en dos etapas para mejorarlo. La primera es el proceso de pre-tratamiento ácido que reduce el nivel de AGL del aceite de *J. curcas* L. a menos del 1%. La segunda etapa o proceso de trans-esterificación alcalino da lugar a una producción de ésteres de metilo del 90% (Berchmans *et al.*, 2008).

El aceite de *J. curcas* L., de acuerdo con los estudios de Akintayo (2004), posee además un alto valor de saponificación por lo que podría ser útil en la fabricación de jabones líquidos y champú.

En cuanto al contenido en esteroides (Akintayo, 2004), los más importantes son: β -sitosterol (71,9%); stigmasterol (11,5%) y campesterol (9,2%).

Tabla 22.- Productos químicos aislados de las diferentes partes de la planta.

Partes planta	Composición química	Referencias
Partes aéreas	Ácidos orgánicos (cumárico, benzoico), saponinas y taninos	Hemalatha y Radhakrishnaiah (1993)
Corteza	β-Amyrin, β-sitosterol y taraxerol	Mitra <i>et al.</i> (1970)
Hojas	Triterpenos cíclicos, stigmasterol _β-sitosterol, 7-keto-sitosterol ; d-glucosido de-sitosterol. Flavonoides apigenina, vitexina, isovitexin. Las hojas también contienen el dímero de un alcohol triterpeno (C ₆₃ H ₁₁₇ O ₉) y dos glicosidos flavonoidales	Mitra <i>et al.</i> (1970), Khafagy <i>et al.</i> (1977), Hufford y Oguntimein (1987)
Latex	Curcacyclina A, octapeptide cíclico Curcaina (una proteasa)	Van den Berg <i>et al.</i> (1995) Nath y Dutta (1991)
Semillas	Curcina (una lectina) Esteres de forbol Esterasas (JEA) y Lipasa (JEB)	Stirpe <i>et al.</i> , (1976) Adolf <i>et al.</i> , (1984), Makkar <i>et al.</i> (1997) Staubmann <i>et al.</i> (1999)
Grano y torta	Fitatos, saponinas y un inhibidor de la tripsina	Aregheore <i>et al.</i> , (1997), Makkar y Becker (1997), Wink <i>et al.</i> , (1997)
Raíces	β-Sitosterol y sus β -d-glucosidos, marmesina, propacina, curculathyranos A y B curcusonas A-D. diterpenoides jatrolol y jatrololona A y B, coumarina tomentina, coumarino-lignan jatrolina y taraxerol	Naengchomnong <i>et al.</i> (1986, 1994)

Fuente: Kumar (2008).

3.2.1.2. Uso medicinal y terapéutico de la especie *Jatropha curcas* L.

La *J. curcas* L es una planta con actividad tóxica que puede utilizarse por sus propiedades terapéuticas. En la Tabla 22 se relacionan las sustancias químicas obtenidas de las diferentes partes de la planta. De hecho, diferentes partes de la misma se utilizan en medicina tradicional, por sus propiedades antimicrobianas, antipiréticas, y antitumorales (Heller, 1996).

La ingestión de 2 ó 3 semillas actúa como un fuerte purgante mientras que un mayor número puede ser letal para el hombre (Torral *et al.*, 2008). No obstante, los granos son consumidos por humanos en algunas regiones de México, lo que implica que existe alguna variedad de esta planta que no es tóxica (Cano *et al.*, 1989) (Makkar *et al.*, 1998).

Investigadores de la Universidad de Hohemheim (Alemania) han confirmado este extremo mediante experimentos realizados con ratas y peces. Han comparado los factores tóxicos y antinutricionales de dos variedades (México y Nicaragua). El principio tóxico se confirmó reproduciendo los signos clínicos en peces alimentados con una dieta que contenía la toxina pura aislada (Becker, 2007).

Aceite. El aceite obtenido del prensado de las semillas posee un efecto laxante y purgante (aceite del infierno o *oleum ricini majoris*), cicatrizante, antiséptico, y antiinflamatorio. También se usa, de forma tópica, para enfermedades de la piel, y para aliviar el dolor causado por el reumatismo (Heller, 1996).

Se considera también como un estimulante del crecimiento del cabello en el sudeste asiático (Torres, 2007).

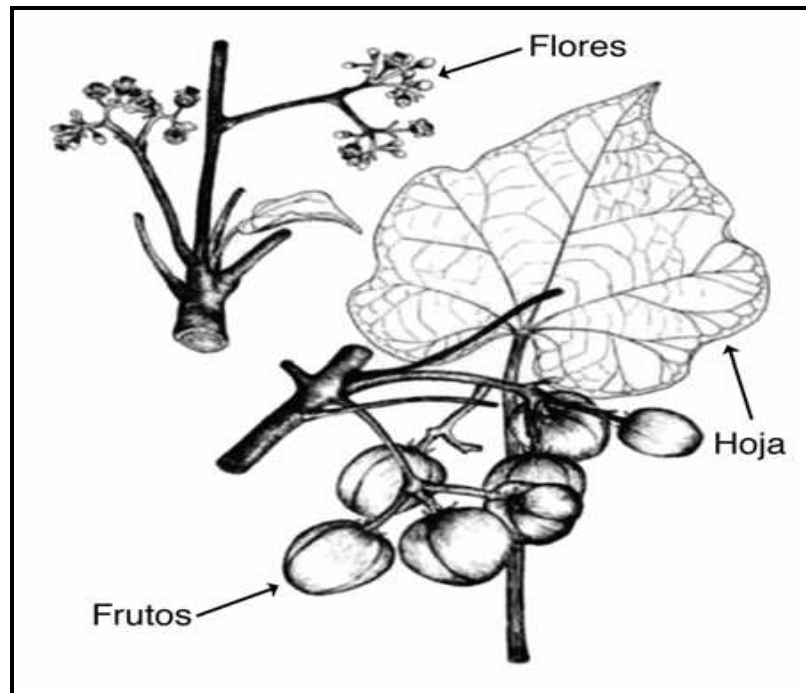
Látex. El látex se utiliza como antiséptico para la boca de los niños. Contiene un alcaloide conocido como “jatrofina” que tiene propiedades antitumorales y también curcaína (peptidasa). Se aplica de forma tópica para conseguir alivio frente a las picaduras de avispas, dolor de muelas, quemaduras, hemorroides y úlceras. También se ha publicado información sobre las propiedades

antimicrobianas del latex frente a *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Streptococcus pyogenes* and *Candida Albicans*. En algunos países se ha usado como plaguicida natural y para curar heridas debido a su poder hemostático (Thomas, 2008).

En este sentido, en 2003 se publicó un estudio (Osoniyi y Onayobi, 2003) en el que se trataba de demostrar la actividad coagulante de esta planta y curiosamente se encontró que el látex poseía igualmente actividad anticoagulante. Al parecer la primera acción (coagulante) aparece a altas concentraciones, mientras que la segunda acción (anticoagulante) se evidencia a bajas concentraciones. Otra posibilidad es que dos sustancias diferentes del látex sean las responsables de cada función que evidentemente se da a distintas concentraciones, o que se trate de una misma sustancia con mecanismos de acción diferente dependiendo de las condiciones. Los resultados obtenidos por estos investigadores en relación al tiempo de protrombina y al tiempo de tromboplastina parcial activada apuntan a que el látex contiene ambas acciones que se manifiestan según la concentración en que se encuentre el mismo.

Hojas. Las hojas (Figura 4) contienen apigenina, vitexina e isovitexina que hacen que sean de interés en el tratamiento de la malaria y de dolores musculares y reumáticos. También se utilizan como alimento para los gusanos de seda, y el tallo se utiliza como dentífrico natural. Se ha observado su actividad antibacteriana frente a *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli* (Shah, 2004).

Figura 4.- Representación de la hoja, flores y fruto de *Jatropha curcas* L.



Fuente: Alfonso (2008)

La infusión de las hojas de la “nuez purgante” se utiliza para el ardor de estómago, artritis y enfermedades venéreas. El extracto de las hojas se ha utilizado para el tratamiento de tumores sólidos. Recientemente se ha aislado una sustancia anti-inflamatoria de estas hojas, la curcina que igualmente ha mostrado propiedades antitumorales. Un diterpeno, el curcuson B, aislado de esta planta, ha mostrado, en experimentos *in vitro*, propiedades anti-metastásicas en líneas celulares de cáncer humano. Curiosamente, esta sustancia farmacológica no presenta efectos tóxicos apreciables para las células normales (Staubmann, 1997).

Raíces. Contienen un antídoto contra el veneno de serpiente (Chhetri *et al.*, 2007). Científicos de la Universidad Cayetano Heredia de Lima (Perú), llevaron a cabo en 1997 un estudio para comprobar la actividad cicatrizante *in vivo* de extractos de 9 plantas entre las que se encontraba la *J. curcas* L. Se trataba de una investigación sistemática de plantas medicinales. En el caso de la jatrofa, las muestras se recogieron en diferentes niveles de altitud entre el nivel del mar y los 2.000 m. de altitud. Los ensayos se realizaron en ratas macho de

entre 2-3 meses de edad y la sustancia que se aplicó a las heridas fue el látex procedente del exudado de la corteza tras un corte. Los resultados mostraron que esta especie se encuentra entre aquellas que muestran una más alta actividad cicatrizante (31%) (Villegas *et al.*, 1997).

En la Tabla 23 se relacionan los diversos usos que se da a las distintas partes de esta planta en diferentes países donde se cultiva.

Tabla 23.- Utilización de *J. curcas* L. en medicina alternativa

Parte	Usos	País
Planta entera	Etno-medicina	India/Mexico
	Laxante/Purgante	Indonesia Sudafrica
	Reumatismo, mordeduras	Filipinas
Corteza	Dispepsia, diarrea	India
Ramas tiernas	Llagas y sangrados	India
Látex	Dolor de muelas, úlceras	Cuba
Hojas	Insecticida	Ghana
	Artritis	Camerún
Semillas	Dolor de estómago, antídoto	India
	Antihelmíntico	Brasil
	Purgante	Portugal
Aceite	Crecimiento capilar	Indonesia

Fuente: Thomas (2008)

3.2.1.3. Interés comercial de la planta

La *J. curcas* L se ha cultivado tradicionalmente en países tropicales y subtropicales como planta ornamental y para cercas para el ganado en ambientes áridos. A principios del siglo XX, en Cabo Verde se producía en grandes cantidades y suponía una importante contribución a la economía del país. Las semillas se exportaban de Cabo Verde a Lisboa (Portugal) y a

Marsella (Francia) para la obtención del aceite purgante y la fabricación de jabón (Heller, 1996).

Las aplicaciones y usos de diversas partes de la planta o de sus productos que se dan en la actualidad aparecen recogidos en el Gráfico 1 y son los siguientes:

Aceite. El almacenamiento de aceite en las semillas es característico de las plantas superiores ya que esto es fundamental para el crecimiento del embrión en su etapa heterotrófica (Ovando-Medina, 2011). En este caso, el aceite obtenido del prensado de las semillas es de uso directo para más de 400 productos en la industria química aunque actualmente su principal destino es la obtención de biodiesel (Torres, 2007). Se utilizó en África para los motores ya en la segunda guerra mundial. Igualmente se ha utilizado para la fabricación de barnices después de quemarse con óxidos de hierro.

Semillas. En Gabón, las semillas molidas y mezcladas con aceite de palma se usan como raticida por su alta toxicidad. La cáscara del fruto y la semilla pueden usarse como combustible (Torres, 2007)

Hojas. El jugo de la hoja se utiliza como colorante de color rojo, mientras que de la corteza que contiene el 37% de taninos, se obtiene un colorante azul oscuro²⁴⁹.

Torta de la molienda. No puede utilizarse directamente para la alimentación animal debido a su toxicidad. No obstante si se detoxifica la misma por técnicas biotecnológicas u otros métodos, puede utilizarse en la alimentación de bovinos, porcinos y aves de corral, ya que es rica en minerales y proteínas. En la actualidad se utiliza como fertilizante ya que es muy apreciado como abono orgánico por su contenido en nitrógeno similar al del ricino (3,2-3,8%). Existe información de su utilización como fertilizante en cultivos de trigo a

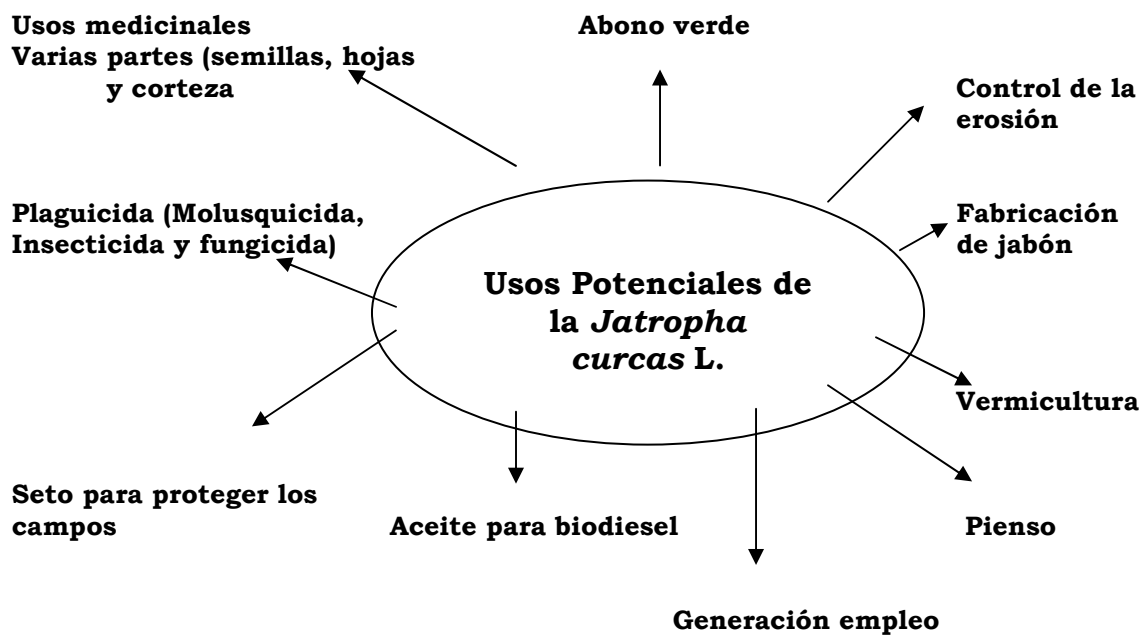
²⁴⁹ Disponible en http://herbaria.plants.ox.ac.uk/adc/downloads/capitulos_especies_y_anexos/jatropha_curcas.pdf

finales del siglo XIX que se encuentra recogida en la Estación Agronomica de Lisboa (Heller, 1996). Otros usos de la planta recogidos en el Gráfico 14, son:

1. Seto vivo

En la India y otros muchos países subtropicales, es una excelente planta para cercados con el objeto de proteger los campos de cultivo de los posibles daños ocasionados por el ganado, ya que no es apetecible para los animales. Además de ello, presenta la ventaja de ser una cerca de origen biológico frente a la metálica, que resulta más cara, especialmente para las pequeñas comunidades rurales (Kumar, 2008).

Gráfico 14.- Usos y aplicaciones de la *Jatropha curcas* L.



Fuente: Kumar (2008)

2. Abono verde y fertilizante

La torta es un subproducto de la extracción del aceite que contiene curcina, una proteína altamente tóxica, similar a la ricina (aceite de ricino), lo que la convierte en incomedible para los animales, si no se detoxifica. No obstante, tiene un importante potencial como fertilizante y para la producción de biogás si está disponible en grandes cantidades (Staubmann *et al.*, 1997; Gubitza *et*

al., 1999). También se puede utilizar como combustible para las turbinas de vapor y generar electricidad. La torta tiene un alto contenido en proteínas (50-60%) y el nivel de aminoácidos esenciales, excepto la lisina, es más alto que el nivel de referencia que da la FAO (Makkar *et al.*, 1998).

Siendo tan rica en nitrógeno, la torta es una excelente fuente de nutrientes para las plantas. En un ensayo con abono verde en Nepal, la aplicación de 10t de biomasa fresca de *J. curcas* L., aumentó la producción de muchos cultivos (Kumar, 2008). Otro uso de la torta de jatrofa es como fertilizante convencional ya que sus propiedades se comparan con las de aquellos fertilizantes orgánicos en cuanto a los contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio (Kumar, 2008).

En otros experimentos, la torta de la “nuez purgante” se utilizó para la producción de biogas (Kumar, 2008). En la actualidad se están desarrollando experimentos sobre el uso del lodo del biogas como fertilizante. Otros más recientes sobre fermentación de la torta en estado sólido, demostraron que podría ser una buena fuente de producción a bajo coste de enzimas industriales (Mahantta *et al.*, 2008).

3. Alimento

La semilla tostada de *Jatropha curcas* L. es consumida en algunas regiones de México ya que existe una variedad no tóxica que no contiene los ésteres de forbol (Makkar *et al.*, 1998). Algunos autores han establecido un protocolo para la propagación *in vitro* de la variedad no tóxica a través de la proliferación de las yemas auxiliares, regeneración de yemas y regeneración a partir de segmentos de las hojas (Sujatha *et al.*, 2005).

4. Jabón

Tras un proceso de trans-esterificación (aceite de jatrofa + alcohol) se obtiene biodiesel y 10 % de glicerol, con alto valor para uso farmacológico e industrial (Torres, 2007). La glicerina resultante de la purificación del glicerol se puede usar para fabricar jabón, aunque también se puede hacer a partir del aceite directamente. En cualquier caso, el proceso da lugar a un jabón suave y

duradero que se produce fácilmente en los hogares o en las industrias a pequeña escala (Kumar, 2008).

5. Plaguicida

El aceite y el extracto acuoso del aceite tienen potencial como insecticida. Se ha utilizado en el control de plagas que afectan al algodón y legumbres, patata y maíz (Kaushit y Kumar, 2006). El extracto en metanol de las semillas de *J. curcas* L., que contiene toxinas biodegradables, se ha probado en Alemania para el control del caracol de agua (Kumar, 2008).

6. Carbón vegetal

En la fabricación del carbón vegetal se pierde entre el 70-80% de la energía de la madera, con una producción de solamente el 30% en un proceso industrial, donde el carbón vegetal es todavía una de las pocas opciones de combustible. La madera de *J. curcas* L. es muy ligera y no es tan buena como fuente de madera porque arde muy rápido. El uso de la torta como fertilizante es más valioso para incrementar la producción de los cultivos que para hacer carbón vegetal con ella (Kumar *et al.*, 2008). Además, la extracción del aceite de la semilla de la jatrofa tiene también mucho más valor económico que convertir la madera en carbón vegetal. Esto solamente sería factible si tuviéramos una gran producción de cáscaras de las semillas procedentes de las plantaciones.

7. Fuente de energía

El aceite de la *J. curcas* L. se ve como un potencial sustitutivo del combustible. Los tipos de combustible que pueden obtenerse de la planta son: la madera, el fruto entero y las partes del fruto que puedan arder separadamente o en combinación. El procesado incrementa el valor energético del producto, pero la disponibilidad energética total disminuye a no ser que se le de un uso a los subproductos. Un enfoque más novedoso se ha desarrollado para la extracción del aceite del grano de la semilla, utilizando una partición en tres fases catalizadas por enzimas (Shah, 2004).

8. Biodiesel

El aceite de *J. curcas* L. puede utilizarse como combustible directamente en los motores diesel mezclándolo con metanol. El biodiesel se obtiene mediante

la trans-esterificación del aceite con metanol o etanol. Es el único combustible alternativo que puede ser utilizado directamente en los motores sin modificar. Algunos autores han comprobado que tanto el metiléster como el etiléster de *J. curcas* L. pueden usarse directamente en los motores diesel (Foid *et al.*, 1996).

3.2.2. Condiciones agronómicas

3.2.2.1. Ecología

Como otras especies, la “nuez purgante” es una planta suculenta que muda sus hojas en la estación seca, por lo que está mejor adaptada a las condiciones áridas y semi-áridas. La mayoría de las especies de este género se dan en áreas de este tipo y no crecen en regiones húmedas como el Amazonas (Dehgan y Schutzman, 1994). La distribución actual de la especie demuestra que su introducción ha tenido más éxito en las regiones más secas de los trópicos con una media anual de precipitaciones de entre 300 y 1.000 mm., como ocurre en Cabo Verde, aunque puede crecer en zonas de precipitaciones más altas.

En general vive en zonas bajas (0-500 m.). Se podría concluir que se ha adaptado a temperaturas más altas. En las zonas que se suponen su centro de origen (Centro América), las temperaturas oscilan entre 20° y 28°C, pero necesita suelos bien drenados y aireados aunque este adaptada a bajo contenido de nutrientes. En Cabo Verde, por ejemplo, vive en las riberas pedregosas o en laderas rocosas, por lo que podemos afirmar que es una especie altamente adaptable (Heller, 1996).

En lugares desérticos donde no crecen malas hierbas, la *J. curcas* L. es capaz de crecer y alcanzar los 6 metros, formando auténticos bosques. Más de 8 meses de sequía al año y temperaturas que rondan los 40°C no marchitan esta planta. La erosión del suelo por el viento y el agua tampoco le daña. Y además, gracias a ella, el suelo erosionado puede recuperar su fertilidad. Extensiones de tierra hasta ahora inservibles podrían ser cultivadas, creando puestos de trabajo y beneficios a países con pocos recursos (Pabón, 2008).

3.2.2.2. Períodos de floración

La floración en la *J. curcas* L. puede presentarse entre los 12 y 24 meses en condiciones muy favorables, pero normalmente lleva más tiempo. La producción de semilla se estabiliza a partir del 4° y 5° años. El desarrollo del fruto precisa alrededor de 90 días desde la floración hasta la madurez de la semilla. Puede florecer nuevamente, después de producir frutos, cuando las condiciones se mantienen favorables por otros 90 días, pero después de esta 2ª floración, la planta se desarrolla vegetativamente.

Esta especie posee flores masculinas y femeninas en la misma planta (monoica), pequeñas con pétalos de 6 mm. de largo y blanquecinos aunque existen algunas plantas solo con flores femeninas (Heller, 1996)

La polinización es realizada por los insectos (Dehgan y Webster, 1979). Estos autores consideran que esta planta es polinizada por las polillas a causa de su dulce y pesado aroma por las noches, sus flores blanquecinas, sus anteras versátiles, sus prominentes órganos sexuales y su néctar copioso. Cuando se eliminan los insectos en un invernadero, la producción de la semilla no se da sin la polinización manual. Las flores hermafroditas se pueden autopolinizar (Heller, 1996). Heller, también observó un cierto número de insectos diferentes que acudían a esta planta y podían polinizarla. En Senegal, observó un proceso de polinización cruzada que no se ve en todos los ambientes. Consiste en que las flores estaminadas²⁵⁰ se abrían después que las flores con pistilo en la misma inflorescencia. Tras la polinización se forma un fruto elipsoidal trilocular. Las semillas son negras y de unos 2 cm. de largo y 1 cm. de grosor (Heller, 1996).

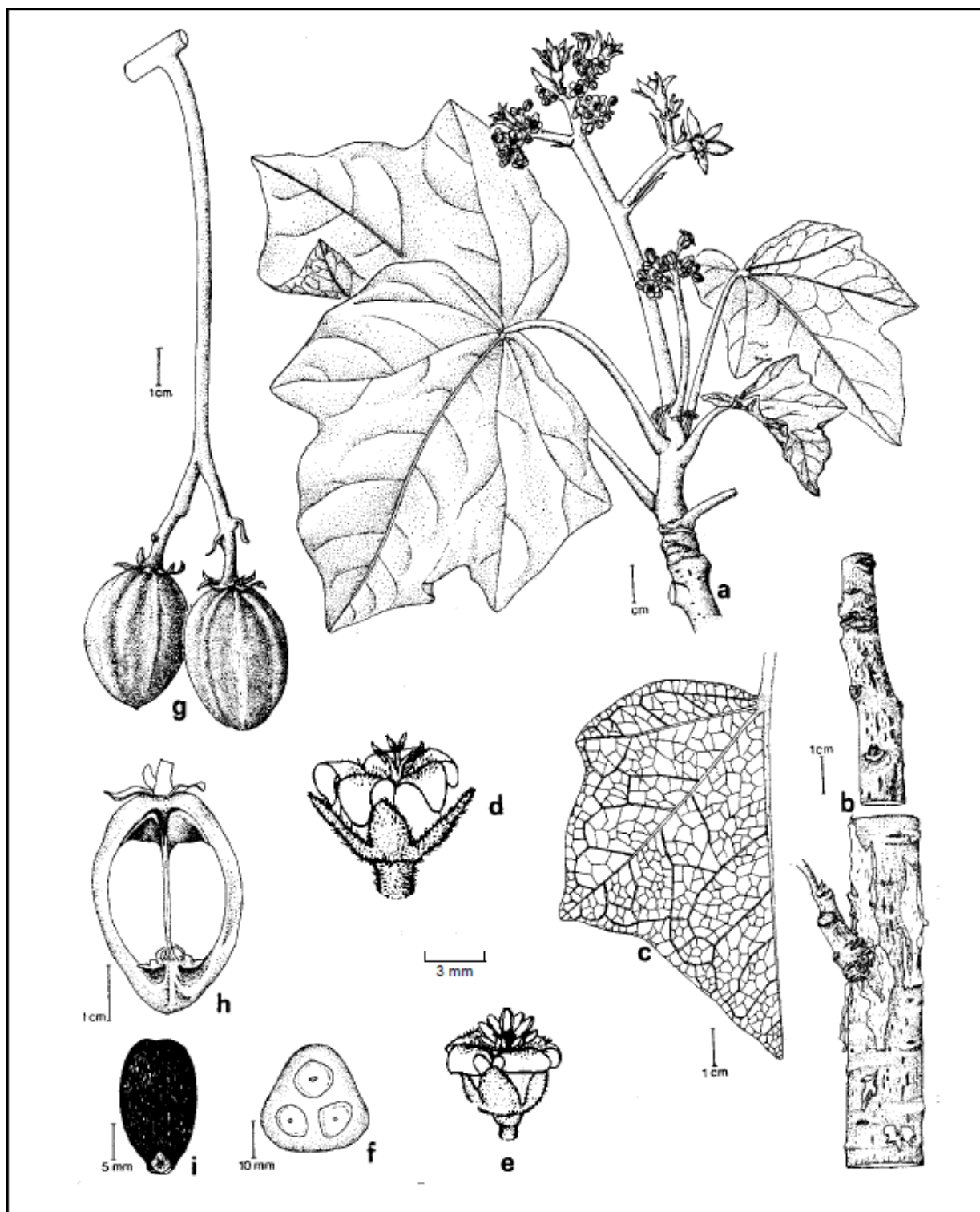
La “nuez purgante” es una especie diploide con $2n=22$ cromosomas. En la Figura 5., se muestran las partes más relevantes de la planta.

Normalmente la floración se da entre los meses de mayo y julio y la fructificación de julio a octubre. Cada inflorescencia produce un manojo de

²⁵⁰ Flores estaminadas: poseen estambres pero no carpelo que es el órgano reproductivo femenino de la flor, la unidad básica del gineceo.

aproximadamente 10 frutos ovoides o más. El desarrollo del fruto necesita 90 días desde la floración hasta que madura la semilla. El fruto es una especie de pequeña cápsula, redonda, de entre 2.5-4 cm. de diámetro. Cuando es inmaduro, es verde y carnosos y se vuelve marrón oscuro al madurar, liberando 2 ó 3 semillas negras de unos 2 cm. de largo. La carne de la semilla es blanca, de textura aceitosa y al parecer sabor agradable (Micromedex 1974-1994). El ciclo productivo se extiende hasta 45 ó 50 años (Alfonso, 2008).

Figura 5.- Partes más relevantes de la planta de *Jatropha curcas* L.



Fuente: Dehgan (1984)

(a) Rama en flor; (b) corteza; (c) nervadura de las hojas; (d) flor pistilada; (e) flor estaminada; (f) corte de fruto inmaduro; (g) frutos; (h) corte longitudinal del fruto; (i) semilla.

3.2.2.2.1. Mínimos requerimientos (suelo, luz, agua y temperatura)

La *Jatropha curcas* L. es una especie que no requiere un tipo de suelo especial. Crece normalmente en suelos áridos y semiáridos, presenta un potencial alto de uso en áreas deforestadas, por lo que constituye una alternativa excelente en suelos agotados o marginales. Responde bien a suelos con pH no neutros. Crece casi en cualquier parte, incluso en las tierras arenosas y salinas o en la tierra pedregosa más pobre. Climáticamente, la *J. curcas* L. se encuentra en los trópicos y subtrópicos. Resiste normalmente el calor aunque también soporta bajas temperaturas y puede resistir hasta una escarcha ligera. Su requerimiento de agua es sumamente bajo y puede soportar períodos largos de sequedad. En los trópicos, hasta ahora se plantaba especialmente para cercas vivas ya que no son consumidas por el ganado. También es usada ampliamente como planta ornamental en parques y jardines (Torres, 2007).

3.2.2.3. Cultivo de la *Jatropha curcas* L.

Los principales aspectos del cultivo de la *J. curcas* L. son la tierra en la que se siembra con sus especiales características, las prácticas de cultivo y las prácticas de gestión incluyendo la maquinaria, infraestructuras y la energía necesaria para ello. Los beneficios del cultivo son las semillas, la biomasa obtenida y las emisiones de GEI que se evitan. Otros aspectos como la erosión y la pérdida de nutrientes dependerían de cada emplazamiento.

La gran adaptabilidad de esta planta hace que pueda crecer, como ya he comentado, en un amplio rango de condiciones diferentes. La profundidad del suelo debe ser al menos de 45 cm (Gour, 2006) y la pendiente de la superficie no debe exceder los 30°. Esta especie está bien adaptada a suelos marginales con bajo contenido de nutrientes, pero si se quiere obtener mayor producción de biomasa, será preciso fertilización para proporcionar nitrógeno y fósforo (Achten, 2008). En algunas prácticas de campo se ha observado que esta especie inoculada con un hongo para formar micorriza²⁵¹ mostraba el 30% de

²⁵¹ Simbiosis entre las raíces de una planta y un hongo que le aporta nutrientes minerales y agua.

incremento en ambas, en la biomasa y en la producción de semillas 7 meses después de la plantación (Tewari, 2007).

En las Tablas 24 y 25 se presenta el calendario anual de operaciones para su cultivo en el 1° y 2° y posteriores años respectivamente.

Tabla 24.- Sistema de cultivo de *Jatropha curcas* L. durante el primer año

Operaciones	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Preparación tierra			→									
Agujeros				→								
Transplante					→							
Aplicación fertilizante						→						
Reemplazamiento de plantas muertas							→					
Eliminación manual malas hierbas								→				
Tratamiento fitosanitario								→	→	→		

Fuente: Ndong (2009)

Tabla 25.- Sistema de cultivo de *Jatropha curcas* L. desde el 2° año en adelante

Operaciones	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Aplicación fertilizante		→										
Eliminación manual malas hierbas						→						
Tratamiento fitosanitario							→					
Poda								→	→	→		
Cosecha (desde 4° año)									→	→	→	→

Fuente: Ndong (2009)

En relación con las semillas, en la Tabla 26 se observa que su peso varía bastante según el origen de las mismas (Torres, 2007).

Tabla 26. Peso de las semillas de *Jatropha curcas* L. según su procedencia

Origen	Peso/1000 semillas
Honduras	500 g.
Tanzania	682 g.
Nicaragua	878 g.
Brasil	642 g.

Fuente: Torres (2007)

Como tratamiento pre-germinativo, a veces se mantienen en agua corriente durante 24 h. Se siembran en camas de arena y tras 5 ó 7 semanas pueden trasladarse al campo. La semilla muestra porcentajes altos de germinación (cerca del 80%) que se inicia a los 10-30 días después de la siembra y es epigea (los cotiledones²⁵² aparecen sobre la tierra). Poco después de formarse las primeras hojas, los cotiledones se caen. El brote ocurre aproximadamente a los 20 días. Se puede plantar a lo largo de todo el año, pero preferentemente no en estación seca. Habitualmente se siembra en surcos separados por una distancia de 2 m. Los plantones deben tener al menos 15 cm. para estar preparados para la siembra. Es importante eliminar todas las malas hierbas el primer año y posteriormente controlar su propagación (Cordero *et al.*, 2003).

Si bien se puede sembrar en cualquier época del año, es preferible iniciar el cultivo en los meses de septiembre a diciembre, de tal forma de tener las primeras fructificaciones en mayo-junio, del año siguiente (es decir, aproximadamente a los 7-8 meses).

Una planta adulta viene a producir unos 10 kg. de frutos/planta, de los cuales 4 kg. corresponden a la semilla. El rendimiento medio de la cosecha es de 25 tn de frutos/ha. Esta producción mejora con el régimen de lluvia adecuado (Torres, 2007).

²⁵² Cotiledón: hoja/s primordial constitutiva de la semilla que se encuentra en el germen o embrión y se encarga de las reservas nutritivas.

La jatrofa se propaga fácilmente, tanto por métodos generativos (siembra directa), como por vegetativos como la plantación de esquejes. En los sistemas agroforestales, la siembra directa suele ser preferible, ya que se considera que la raíz principal penetra en el suelo más profundamente y así puede obtener nutrientes extra, además de competir menos con las raíces de otros cultivos (Heller, 1996). Esta es recomendable llevarla a cabo al comienzo de las lluvias, cuando el suelo este húmedo porque esto ayuda al desarrollo seguro del sistema radical (Achten *et al.*, 2008).

En cuanto a la reproducción vegetativa, las recomendaciones varían mucho. Kaushik (2006) comunicó que el porcentaje de supervivencia depende del origen del material que se planta y de la combinación longitud-diámetro del corte, pero Heller (1996) considera que los árboles que se han propagado por esqueje, muestran una longevidad más baja, además de ser menos resistentes a la sequía y a las enfermedades. Esto probablemente se debe a que no han desarrollado raíces profundas, sino unas pseudo raíces que pueden penetrar solamente 1/2 ó 2/3 de la profundidad del suelo

La selección del material es un paso fundamental, aunque si bien en experimentos en la India con variedades de distinta procedencia no se han observado grandes variaciones genéticas, si que ha ocurrido cuando se comparan genotipos de México y de la India. Esto implica que es importante caracterizar las variedades con un margen geográfico amplio (Basha *et al.*, 2007). La mejor práctica disponible es plantar el material disponible de los árboles que han dado mejor resultado en una zona determinada. Los árboles con una producción anual superior a 2 kg de semilla seca y contenido en aceite superior al 30% de peso, se consideran una fuente adecuada (Gour, 2006).

En el caso de la propagación por semillas, es más recomendable la selección de las más pesadas y grandes (Kaushik *et al.*, 2003). Aunque los porcentajes de germinación, después de los pre-tratamientos aplicados, son bastante altos y aunque las bolsas protectoras pueden dificultar la formación inicial de la raíz, se sigue recomendando la siembra directa de las semillas. De este modo,

las plantas están suficientemente protegidas en sus primeras etapas de desarrollo cuando son susceptibles a las condiciones climáticas u otros factores. Además de ello, de este modo la plantación es más uniforme. El principal inconveniente de esta práctica es el efecto de las bolsas de polietileno en la estructura de la raíz (Achten, 2008).

Debido a la competencia de las raíces por el agua, la distancia óptima viene dada por las precipitaciones, de modo que en zonas semiáridas el espaciado deberá ser mayor, y en zonas húmedas, podrán ser más densas. Además, el espaciado afecta al balance de producción de biomasa y de frutos. Cuando la distancia es menor, se cierra antes el canopo²⁵³, lo que da lugar a una competencia mayor por la luz y el agua y una ratio menor de biomasa/fruto en el estado maduro. Cuando se planta la *J. curcas* L. como seto vivo o para conservación del suelo, lo importante es la biomasa, por lo que es adecuado una distancia menor. Mientras que cuando se trata de producción de aceite, es preciso un espaciado mayor para facilitar la producción de semillas, pero suficientemente cerca para evitar la pérdida de capacidad fotosintética en la etapa juvenil. De este modo, se considera que la distancia de plantación adecuada no puede fijarse hasta después de 5 años consecutivos de crecimiento y las observaciones sobre la producción en las diferentes condiciones y con los distintos genotipos utilizados. Parece que la mejor práctica disponible actualmente es realizar una plantación en bloques más densa y gradualmente eliminar individuos, de acuerdo con el comportamiento observado (Achten *et al.*, 2008).

En contra de lo que generalmente se piensa, cuando se cultiva *J. curcas* L. con el objetivo de producir aceite, es preciso fertilizar, ya que se debe compensar la pérdida de nutrientes que se produce en la cosecha. La irrigación dependerá de las condiciones climáticas en las que se de el cultivo. La media mínima de precipitaciones que se necesita para conseguir una cantidad cosechable de semillas es 500-600 mm/año. Así que cuando se trata simultáneamente de recuperación de tierras degradadas y producción de biodiesel, es preciso fertilizar y regar (Achten *et al.*, 2008).

²⁵³ Cápsula del fruto que contiene las semillas.

Se han realizado ensayos de fertilización, pero hasta la fecha no hay nada concluyente como para determinar cantidades de nutrientes específicas. Como lo que se busca al principio es un fuerte desarrollo radicular y un crecimiento rápido para llegar a la madurez cuanto antes, lo mejor es comenzar fertilizando con una dosis alta en fósforo y con cantidades menores de nitrógeno y de potasio. La segunda aplicación será más alta en nitrógeno (OCTAGÓN, 2006).

Hasta la fecha, el principal problema es la predicción de la producción que se obtendrá. Se piensa que para cultivos bien gestionados en buenas condiciones ambientales, la producción debe ser de 4-5 tn/ha de semilla seca. Así que con objeto de disponer de datos más precisos, es fundamental realizar un seguimiento año tras año. Además de ello, es preciso investigar más para cuantificar los efectos causales de cada uno de los factores que pueden influir en la producción, como las interacciones con el medio de cultivo o el genotipo utilizado. Otros factores que deben estudiarse son el ciclo biogeoquímico, la eficiencia en el uso del agua, la resistencia a la sequía, la producción de biomasa, la gestión de las plagas y la invasividad (Achten *et al.*, 2008).

La preparación de un campo para plantaciones de oleaginosas consiste fundamentalmente en la limpieza y la preparación de los hoyos donde se colocarán las plantas precultivadas. El mejor momento es la estación templada, si se puede regar o en el comienzo de las lluvias. Algunos autores consideran importante también la retirada de malas hierbas y la poda (Heller, 1996; Openshaw, 2000).

La densidad de plantación dependerá del tipo de productor que lo realice. En la Tabla 27 se recogen algunas medidas.

Tabla 27.- Diferentes densidades de cultivo de *Jatropha curcas* L.

PLANTACION	DENSIDAD	OBSERVACIONES
2 x 2 m.	2.500 plantas/ha.	Es la mayor cantidad de árboles que generalmente se puede cultivar por ha, al 4º o 5º año se deberá entresacar y se dejará 4 x 2m.
4 x 4 m.	625 plantas/ha.	
3 x 1,5 m.	2.250 plantas/ha.	Ideal para cultivos empresariales
3 x 3 m.	1.111 plantas/ha.	

Fuente: Torres (2007)

Las altas densidades permiten obtener buenas cosechas desde los primeros años, pero después esas plantas se molestarán unas a otras por la proximidad y necesariamente se deben eliminar hileras de plantas (Torres, 2007).

Hacia los 6 meses es importante podar los brotes terminales para inducir la formación de ramas laterales. Se ha visto en experimentos que es muy beneficioso podar cuando tiene una altura de 30-45 cm., aunque depende del ritmo de crecimiento. Al final del primer año deben podarse también las ramas laterales para inducir la formación de otras nuevas. La poda por su parte debe realizarse en un período seco, es decir en el invierno después de que los árboles hayan mudado sus hojas. Esto da lugar a un árbol más bajo y más ancho lo que facilita una producción de semillas más temprana y la recogida manual. Cada 10 años, la planta debe podarse entera, dejando un tronco de 45 cm. Así, la recuperación es rápida y los árboles empiezan a producir en el primer año. Esto ayuda a estabilizar la producción (Gour, 2006).

Es evidente que la fertilización y la irrigación óptima aumentan la producción de semillas y de aceite, pero un estado de humedad y de alta irrigación permanente, produce mayor cantidad de biomasa, pero baja producción de semillas, por lo que es importante medir cuidadosamente estos parámetros. Los niveles óptimos de nitrógeno y fósforo dependen de la edad de la planta

(Patolia *et al.*, 2007). En suelos degradados, las plantas responden mejor a la fertilización orgánica (Francis *et al.*, 2005).

3.2.2.4. Principales plagas del cultivo de *Jatropha curcas* L.

En cuanto a las plagas, la susceptibilidad de la *J. curcas* L. a las plagas y enfermedades está muy discutida. Se cree que depende de la intensidad de las prácticas. Se cree que esta especie puede transmitir la enfermedad de la superelongación de la “Cassava” (*Sphaceloma manihorticola*) y es un posible hospedador del virus del mosaico de la Cassava Africana, que hasta ahora sólo se había encontrado en *Jatropha multifida* L. (Heller, 1996). Existe sobre esto una creencia popular de que la *J. curcas* L. no es susceptible a plagas y enfermedades como para producir daño económico, sin embargo en los monocultivos de esta especie en la India se han observado daños económicos (Shanker *et al.*, 2006).

En la mayoría de los países, las plagas no causan problemas severos, aunque depende del ambiente en el que se desarrolla el cultivo. Los milípodos²⁵⁴ pueden producir la pérdida total de las semillas jóvenes, que son también susceptibles a la competición con las malas hierbas durante las fases tempranas de su desarrollo, por lo que el control, ya sea manual o mecánico es importante en la fase de implantación (Heller, 1996).

Si bien las principales plagas de este cultivo son la hormiga termita que carcome el tallo, las arañas, los pulgones, los ácaros que producen la marchitación del fruto y el hongo *Fusarium* sp que causa la pudrición de las ramas (CULTIVOS ENERGÉTICOS SRL, 2007), en la Tabla 28 se detallan otras plagas encontradas en esta especie. El uso de plaguicidas no es importante, gracias a las características insecticidas y fungicidas de la propia planta (Pabón, 2008).

²⁵⁴ Milípodos: clase de artrópodos Miriápodos, mandibulados y similares a los insectos.

Tabla 28.- Plagas y enfermedades de la *Jatropha curcas* L.

Plagas y enfermedades encontradas en Peten (Guatemala) No.	Nombre común	Nombre técnico	Zona de daño
1	Gallina Ciega	<i>Phyllophaga</i> spp.	Raíces
2	Zompopo	<i>Atta</i> spp.	Hojas
3	Rata de campo		Tallo
4	Chicharrita	<i>Empoasca fabae</i>	Hojas
5	Chicharrita	<i>Oncometopia</i> spp.	Hojas
6	Tortuguilla	<i>Diabrotica</i> spp.	Hojas
7	Saltamontes/Chapulines	<i>Varias especies</i>	Hojas
8	Gusano peludo(blanco)	Familia: <i>Zygaenidae</i>	Hojas
9	Gusano peludo(amarillo)	<i>Estigmene</i> spp.	Hojas
10	Pulgón lanoso	<i>Eriosoma</i> spp.	Hojas
11	Babosa		Hojas, Tallo
12	Acaro raspador	<i>Poliphaotarsonemus latus</i>	Hojas
13	Palomilla con alas plumosas Minador de hojas	Familia: <i>Pterophoridae</i>	Hojas
14	Thrips	<i>Thrips</i> spp.	Hojas tiernas, Cogollo tierno
15	Picudo culón	<i>Pantomorus femoratus</i>	Hojas
16	Grillo	<i>Gryllus assimilis</i>	Tallo
17	Gusano del fruto		Fruto
18	Chinche verde	<i>Nezara viridula</i>	Hojas/ Fruto
19	Chinche pata de hoja	<i>Leptoglossus zonatus</i>	Fruto
20	Chinche de la flor	<i>Hypsilonotus intermedius</i>	Flor
21	Roña	<i>Sphaceloma</i> spp.	Fruto
22	Manchas necróticas	<i>Curvularia</i> spp. <i>Verticillium</i> spp.	Hojas
23	Pudrición del tallo	<i>Botryodiplodia</i> spp. <i>Rhizoctonia</i> spp.	Tallo
24	Manchas secas	<i>Phyllosticta</i> spp.	Hojas

Fuente: OCTAGÓN. Biocombustibles (2006)

3.2.2.5. Huella hídrica del cultivo

Científicos de la Universidad de Twente (Holanda), han publicado en 2009 un estudio en el que se compara la huella hídrica²⁵⁵ de la bioenergía de los 12 cultivos más importantes para la producción agrícola mundial. Además de ello, han incluido el cultivo de *J. curcas* L. por la importancia que tiene en la actualidad en la producción de biodiesel. Al contrario de lo que se puede pensar, siendo una planta que crece en terrenos áridos y semiáridos, este estudio la considera un cultivo ineficiente (Gerbens-Leenes *et al.*, 2009).

La huella hídrica es evidente que muestra una gran variación dentro de un mismo cultivo dependiendo del sistema de producción utilizado y de las condiciones climáticas. En el caso del biodiesel, obtenido a partir de soja, colza o jatrofa, aparecen diferencias importantes entre los principales productores.

Para la colza, Europa Occidental muestra la menor huella hídrica, frente a Asia, en concreto la India que muestra la mayor (de media 14.000 litros de agua para producir 1 litro de biodiesel). Para la soja, Italia, Paraguay y Argentina muestran la mínima huella hídrica (media de 14.000 litros de agua), mientras que la India muestra de nuevo la mayor y, en el caso de la jatrofa, se produce de la forma más eficiente en Brasil mientras que en la India de nuevo es el sistema más ineficiente (media de 20.000 litros de agua para 1 litro de biodiesel).

Este estudio ha tenido réplicas por parte de investigadores de la Universidad de Lovaina (Bélgica) (Maes *et al.*, 2009), que han publicado que a su juicio el dato de la huella de agua proporcionado por Gerbens-Leenes y colaboradores (2009) en un reciente artículo (8,6 veces mayor que la de la remolacha

²⁵⁵ Habitualmente denominada en inglés WF (water footprint), se define como el volumen total anual de agua dulce utilizada para la producción de mercancías y servicios para el consumo.

azucarera que es el cultivo más eficiente en su uso del agua) no es correcto. Al parecer habían considerado la cantidad de agua en las plantaciones, sumando lluvia y riego, pero sin contar la evapo-transpiración de las plantas. Además de hacer extensivos los datos de determinadas zonas de los 5 países de procedencia de las especies, los investigadores habían utilizado datos de plantaciones inmaduras, de entre 1 y 4 años en los que se da una productividad de las semillas muy baja. Todo esto mientras que otros trabajos recientes proporcionan datos en un sentido totalmente distinto (Maes *et al.*, 2009).

Investigadores de la Universidad de Wageningen (Holanda) (Longschaap *et al.*, 2009) también hacen referencia al estudio publicado en relación con la huella hídrica de la jatrofa (Gerbens-Leenes *et al.*, 2009). Ellos consideran que esta debe calcularse relacionando la producción de energía de un cultivo con el uso de agua real bajo condiciones climáticas reales durante una estación de cultivo. No están de acuerdo con quienes consideran las precipitaciones medias y la irrigación adicional para satisfacer los requerimientos potenciales de agua del cultivo, ya que da como resultado un cultivo poco eficiente, cuando en realidad se considera una alternativa en áreas áridas y semiáridas para luchar contra la erosión y además servir de fuente de energía local. A su juicio (Longschaap *et al.*, 2009), la información utilizada no es suficiente para obtener cálculos correctos. También hay que considerar, al calcular la producción de energía, la que produce la torta resultante tras la extracción del aceite. Para 1/3 de aceite que se extrae y 2/3 de torta, con alto poder calorífico, se manejan valores de 37,7 mj/kg para el aceite y 17,5 mj/kg la torta (Longschaap *et al.*, 2009).

Gerbens-Leenes *et al.*, (2009) replica a estos comentarios que utilizaron pocos datos porque no había más disponibles en la literatura científica, aunque acudieron a la información de 5 plantaciones en distintos países. En cualquier caso reconocen que sus datos tal vez precisan cierta revisión en el futuro. Además de ello, concluyen que es importante diferenciar entre un cultivo de jatrofa que crece en condiciones de estrés hídrico solamente con agua de lluvia y aquellos que son irrigados, porque la huella hídrica será totalmente distinta.

3.2.2.6. Prácticas de mejora del cultivo

Para obtener una mayor producción de aceite, las semillas deben cosecharse cuando están maduras, es decir cuando el color ha cambiado de verde a marrón-amarillento. La madurez se alcanza normalmente a los 90 días de la floración, pero los frutos no maduran todos al mismo tiempo, por lo que deben recogerse manualmente a intervalos regulares, lo que implica una intensa labor (Heller, 1996). En las regiones semiáridas, la recogida se extiende durante unos 2 meses, mientras que en zonas más húmedas, la cosecha debe realizarse a lo largo de todo el año. La separación de las semillas y las cáscaras se puede hacer manual o mecánicamente (Gour, 2006).

La sincronización del florecimiento en la jatrofa facilitaría la cosecha mecánica de las semillas secas y disminuiría el grosor de la testa que a su vez daría lugar a una extracción más fácil del aceite (Abhilash, 2011).

La cuestión de la producción de semillas en la jatrofa es todavía un tema complicado, ya que como los seguimientos sistemáticos de la producción se han iniciado recientemente, no se conoce todavía mucho sobre ellos. Evidentemente también depende de las características del lugar de siembra como las precipitaciones, tipo de suelo, fertilidad, genética, edad de la planta y métodos de cultivo, pero habitualmente en las experiencias realizadas no se informa sobre la influencia de estas variables. Hasta la fecha no se han realizado programas de mejora del germoplasma o son escasos, por lo que se sigue considerando a la *J. curcas* L. como una planta silvestre que presenta una gran variabilidad de productividad entre individuos. La producción anual de semillas puede variar desde 0,2 kg- a más de 2 kg- por planta (Francis *et al.*, 2005).

Para áreas semiáridas y tierras marginales Heller (1996) y Tewari (2007) propusieron un valor de producción de semilla de 2-3 tn/ha/año, que

posteriormente ha sido confirmado por los datos de campo obtenidos por Francis *et al.*, (2005).

En relación con la producción de biomasa, hasta la fecha no existe información disponible. Makkar *et al.*, (1997) dieron información sobre 18 procedencias diferentes de países del este y oeste de África, América y Asia, incluyendo datos climáticos de estos lugares. Así se encontraron grandes diferencias en el contenido de proteína cruda, grasas, fibra y cenizas, pero no se analizaron las causas. En un estudio más reciente, Kaushik *et al.*, (2006) registraron coeficientes de variación de 24 procedencias de la India, que indican un papel más dominante del medio ambiente que de la genética, en cuanto al tamaño de la semilla, peso y contenido en aceite de la misma.

Uno de los subproductos de la jatrofa en la producción de semilla es la cáscara que supone entre el 35-40% del peso del fruto completo. La cáscara se puede utilizar para combustión directa y para la producción de biogás. Recientemente se ha visto que son una excelente materia prima para la gasificación. El gas obtenido tiene un valor energético de 4,6 megajulios/m³ que es comparable a la madera (Vyas y Singh, 2007).

La India es uno de los países que más fuertemente está apostando por el cultivo de la *J. curcas* L. para la producción de biodiesel. En este sentido, se están llevando a cabo numerosos estudios para mejorar las condiciones de cultivo y, ya que es una planta capaz de crecer en terrenos marginales, aprovechar al máximo esta posibilidad. En el Instituto Nacional de Investigación en Ingeniería Ambiental (NEERI) en Nagpur (India), se realizó un experimento para comprobar el efecto de los lodos biológicos y biofertilizantes en el crecimiento del cultivo de *J. curcas* L. en suelos contaminados por metales pesados (Juwarkar *et al.*, 2008). Sabemos que estos afectan la utilización de los suelos en gran medida en todo el mundo, fundamentalmente plomo, antimonio, cromo y zinc (Meagher, 2000). Los países industrializados han regulado la emisión de sustancias tóxicas al medio ambiente desde los años setenta, pero todavía existen en el mundo numerosos sitios contaminados que representan un riesgo para la salud humana y para otros organismos (CE, 2006).

En la India, la contaminación de suelos por metales pesados varía entre menos de 1 mg/kg- a más de 100.000 mg/kg- debido al origen geológico del suelo y al efecto de la actividad humana (NGRI, 2004). Es evidente que las tierras que se utilicen para cultivos destinados a la producción de biocombustibles no deberían competir con aquellas destinadas a la producción de alimentos, por lo que es importante estudiar la posibilidad de las tierras marginales o vertederos. Se sabe que la interacción entre microorganismos del suelo, raíces de la planta y determinados tratamientos, pueden aumentar la ingesta de nutrientes y mitigar la toxicidad de los metales (Smith, 1994).

Los experimentos realizados en macetas, utilizando lodos biológicos procedentes de una refinería de petróleo y *Azotobacter chroococcum* como biofertilizante (aislado de suelos contaminados con arsénico, cromo y zinc) llegaron a la conclusión de que los lodos de forma aislada o en combinación con el fertilizante biológico, aplicados a los suelos contaminados, reducían la ingesta de metales por parte de los tejidos de la planta y aumentaban el crecimiento en términos de altura y biomasa reduciendo la fitotoxicidad. La ingesta de metales por la planta se mantenía por debajo de los límites aceptables, es decir 50 mg/kg de arsénico y cromo, mientras que para el zinc era de 2.000 mg/kg. Por el contrario, si se utilizaba solamente el biofertilizante, no se mejoraba el crecimiento de la planta en dichos suelos (Juwarkar *et al.*, 2008).

Estos resultados son muy interesantes y alentadores ya que se demostraba que el cultivo incluso sobrevivía con altas concentraciones de zinc en el suelo.

Se han llevado a cabo experimentos en invernadero para determinar la respuesta al crecimiento, tolerancia a los metales y el potencial de fitoestabilización de la *J. curcas* L. (Wu *et al.*, 2011). Estos autores cultivaron las plantas en suelos ácidos contaminados en diferente grado con metales pesados (control T), (moderadamente contaminado T1) y (altamente contaminado T2). La secuencia de acumulación de metales en la jatrofa era: raíces-tallo-hojas. El índice de tolerancia mayor (>90%) sin efectos fitotóxicos

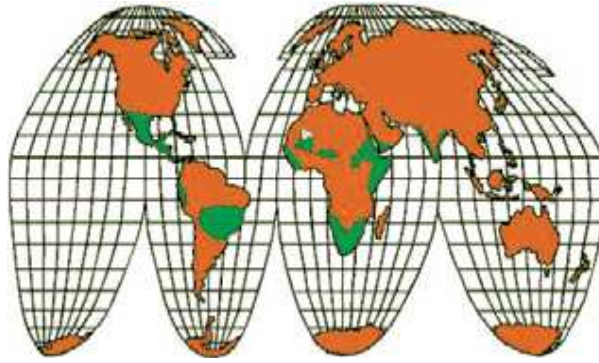
ni reducción del crecimiento en T1 mostró que esta planta tiene la posibilidad de tolerar los suelos de residuos de minería. Además varios antioxidantes enzimáticos y no enzimáticos estaban implicados activamente en el mecanismo de defensa de la planta. Por otro lado, para aliviar la fitodisponibilidad de metales tóxicos como el aluminio, cobre y plomo se añadieron piedras calizas en diferentes porcentajes en ambos, el T1 y el T2. Así, se vio que mejoró el crecimiento de la planta por el incremento en el pH del suelo y la disminución de la fitodisponibilidad de los metales tóxicos aluminio (95%), zinc (~75%), y cobre (~65%) en un 0.50%. La resistencia de esta planta incluso sin la adición de caliza, la convierte en candidata para la fitoestabilización de suelos contaminados por residuos de minería (Wu *et al.*, 2011).

3.2.3. Mejora genética

La distribución de la *J. curcas* L. por todo el mundo (Figura 6) y su introducción en el mercado con diversos fines se encuentra con el obstáculo de la falta de información sobre su base genética, el bajo rendimiento de las cosechas, la baja diversidad y su vulnerabilidad frente a las plagas de insectos y enfermedades. Se han seleccionado unas cuantas variedades en distintos países, pero el material genético disponible es indeterminado y la variabilidad en los componentes y contenido de aceite es fuertemente dependiente de las condiciones ambientales. Puesto que esta planta se ha domesticado, es preciso realizar cruzamientos para obtener genotipos superiores, es decir con mayor rendimiento y contenido en aceite, una madurez más temprana y resistencia a plagas y enfermedades, entre otros caracteres (Heller, 1996).

La resistencia a los insectos podría introducirse en esta planta mediante ingeniería genética (Abhilash, 2011)

Figura 6.- Distribución de *Jatropha curcas* L. en el mundo



Fuente: Pabón (2008)

Así, a pesar del entusiasmo de muchos países por llevar a cabo extensas plantaciones, la *J. curcas* L. actualmente sería más interesante como materia prima comercial para la producción de biodiesel a gran escala si se mejora genéticamente por cruzamiento convencional o por ingeniería genética (Kohli *et al.*, 2009).

El centro de origen de esta especie es probablemente México y América Central. Aunque la mayoría de las especies del género *Jatropha* son nativas del nuevo mundo, se han encontrado unas 66 especies pertenecientes al mundo antiguo. Los centros de conservación de este germoplasma están localizados en 3 países²⁵⁶, pero se considera que toda la variabilidad genética no está representada en estas colecciones (Heller, 1996).

Existe germoplasma silvestre en América, África y Sudeste asiático. La mayoría de las variedades han resultado de la selección hecha por las poblaciones naturales (Henning, 2006). La variedad de Cabo Verde se ha extendido por todo el mundo. Heller (1996) encontró un escrito de Serra (1950) que afirmaba no haber encontrado nada previo a 1800 en la literatura, sobre

²⁵⁶ Costa Rica (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza- CATIE), Burkina Faso (Centre National de Semences Forestieres - CNSF) y Cabo Verde (Instituto Nacional de Investigacion e Desenvolvimento Agrario- INIDA).

la introducción de la “nuez purgante” en Cabo Verde. Probablemente llegó allí desde el Caribe traída por comerciantes portugueses que la distribuyeron por otros países de África. Una variedad de Nicaragua presenta menos frutos pero más grandes, aunque el rendimiento por hectárea parece ser similar a cualquier otra variedad (Henning, 2006). Existe una variedad de *J. curcas* L. no tóxica en México que se utiliza para consumo humano después de tostarla, en el estado de Veracruz, cuyo valor nutritivo es similar al de las variedades tóxicas (Makkar *et al.*, 1998).

La mejora genética y domesticación de la nuez purgante debería seguir el mismo curso que el ricino que en un principio se consideró un cultivo oleaginoso de importancia menor y posteriormente se convirtió en un cultivo industrial a gran escala. En general se explotan los parientes silvestres de determinadas plantas como importantes reservorios de variabilidad genética. Puesto que morfológicamente la jatrofa y el ricino se asemejan, se ha intentado aprovechar aquellos rasgos de la primera que no posee el ricino, pero no se ha conseguido hasta la fecha debido a la falta de compatibilidad, si bien esto se podría llevar a cabo mediante técnicas biotecnológicas (Sujatha *et al.*, 2008). En este sentido, existen estudios que revelan la susceptibilidad de los explantes de semillas de jatrofa a la transformación mediada por el *Agrobacterium* (Li *et al.*, 2006). Estos investigadores han descrito un sistema completo de transformación con discos de cotiledones utilizando como marcador la resistencia al antibacteriano higromicina. En otros estudios se han aislado y caracterizado los genes de *J. curcas* L. de resistencia a la salinidad y a las heladas (JcERF), el gen de la curcina y genes de proteínas transportadoras (Lin, *et al.*, 2003). Estos estudios evidentemente tienen implicaciones para la ingeniería genética con esta planta. La mejora de las variedades de la jatrofa debe aumentar y estabilizar la productividad de la misma y mejorar la calidad del aceite y de la semilla para diversificar sus usos (Sujatha *et al.*, 2008).

Deberían reunirse variedades de diferentes zonas agro-climáticas del mundo para determinar su producción de semilla, contenido en aceite y resistencia a enfermedades. Las variedades se cultivarían en distintas partes del mundo y se llevaría a cabo su morfología detallada, genómica y caracterización

molecular. De este modo, las mejores variedades podrían utilizarse para los programas de mejora (Abhilash *et al.*, 2011).

Sería de gran utilidad secuenciar el genoma completo de la planta. Ya que su tamaño es bastante pequeño, 416 Mpb (Carvalho, 2008), sería posible completar su secuenciación en un tiempo razonable.

Se ha publicado recientemente un trabajo de caracterización fisico-química llevados a cabo en la India (Leela *et al.*, 2011), comparando 4 variedades, con objeto de identificar las que reúnen las mejores características para la obtención de aceite y su posterior transformación en biodiesel. Para ello han utilizado los siguientes parámetros: (1) contenido de ácidos grasos libres (AGL), (2) contenido en fósforo, (3) viscosidad, (4) humedad y (5) ácidos grasos insaturados.

Además, debido a las importantes diferencias encontradas hasta la fecha por diferentes autores en relación al tamaño de las semillas y al contenido en aceite de las mismas a pesar de su alta similaridad genética y de compartir condiciones eco-geográficas y ambientales, Leela, *et al.*, (2011) recogen un protocolo de micropropagación mediante el empleo de explantes axilares. Habitualmente en este cultivo es bastante difícil lograr una uniformidad en cuanto al material vegetativo. Un programa de cultivo mediante polinización dirigida puede conducir a la obtención de las variedades más adecuadas. Mientras que la propagación vegetativa produce de 100-500 clones de la planta madre, el cultivo de tejidos por micropropagación da lugar a miles de ellos. Esto facilitaría el cultivo de jatrofa para la producción de biocombustible a través de un enfoque biotecnológico para obtener material vegetativo genéticamente uniforme, libre de enfermedades y con un contenido de aceite adecuado (Leela *et al.*, 2011).

Hasta la fecha no se ha prestado atención al contenido de ácidos grasos de las semillas como marcadores químicos para estimar la diversidad genética ya que los estudios se han concentrado en la proporción de ácidos grasos saturados e insaturados por su importancia para la obtención del biodiesel. No obstante, recientemente se ha publicado un trabajo por Ovando-Medina y colaboradores

(2011) de la Universidad de Chiapas (México) que analiza 135 plantas recogidas en 38 localizaciones de México y que utiliza el contenido de aceite de las semillas y su composición como marcadores para determinar la diversidad genética a través del nivel de variación química y su relación con el significado evolutivo.

Las plantas se agruparon en 6 poblaciones en las que había al menos 5 árboles en etapa de producción de semillas. Se determinó el contenido en AGL de las muestras por cromatografía de gas/espectrofotometría de masas. Con objeto de comprobar si la composición y proporción de AGL son caracteres fijos y no dependen de las condiciones de cultivo, se cultivaron 15 muestras reproducidas por clonación, en condiciones similares durante un año. Así se observó que la cantidad de aceite encontrada en las semillas fluctuaba entre 8,02 y 54,28% mientras que la variación dentro de los sitios era de 12,09 a 44,27%. Estos datos son muy significativos y se observó que el contenido en aceite está relacionado con la altitud, pero no con la latitud. Se identificaron 11 tipos de AGL en las muestras. Al analizar los principales componentes se vio que las variables *ácido esteárico, oléico y linoléico* contribuían especialmente al primer componente principal, lo que implica que estos AGL son los que *pueden utilizarse como indicadores de la variabilidad genética*.

El estudio con las plantas clonadas mostraba, como figura en la Tabla 29, que la mayoría de AGL tienen un carácter heredable, a excepción del ácido palmítoleico que no presentaba variación en los diferentes genotipos (Ovando-Medina *et al.*, 2011).

Tabla 29.- Estimación de la heredabilidad en sentido amplio

Variable	V _g	V _p	h ² _{bs} (%)
- Mirístico	0,0056	0,0063	89,23
- Palmítico	29,8427	30,4945	97,86
- Palmitoleico	0,0000	0,5984	0,00
- MPalmítico	0,0028	0,0031	92,08
- Esteárico	9,7004	10,1895	95,20
- Oléico	24,0714	25,2182	95,45
- Linoléico	36,0180	37,2547	96,68
- Araquídico	0,0509	0,0515	98,82
- Gadoleico	0,0032	0,0037	86,48
- Ricinoleico	0,0089	0,0215	41,35
- Contenido aceite	17,9423	25,5240	70,30

V_g: Variación Genotípica; V_p: Variación fenotípica;
h²_{bs}: Heritabilidad en sentido amplio (en porcentaje).

Fuente: Ovando-Medina (2011)

Mediante realización del ensayo de Mantel²⁵⁷ se vio que hay correlación entre la distancia genética y la distancia geográfica en km y se demostró la existencia de barreras genéticas entre las poblaciones. La mayor barrera separa el Centro de Chiapas (México) del resto y se identificó otra barrera genética en Michoacan (México) (Ovando-Medina *et al.*, 2011).

3.2.3.1. Caracterización molecular

Si bien últimamente se está publicando más ampliamente, no existe mucha bibliografía aún relativa a la caracterización molecular del material genético de esta planta. En el Instituto de Investigación Química de Gujarat (India), se llevó a cabo en el año 2009 el primer intento de determinar sistemas de

²⁵⁷ Ensayo de Mantel: Test estadístico de correlación entre dos matrices que deben encontrarse en el mismo rango. Se utiliza mucho en ecología para estimar la distancia entre especies.

marcado genético. Han tratado de caracterizar variedades tóxicas y no tóxicas de *J. curcas* L. a nivel molecular y de desarrollar marcadores basados en la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) para distinguirlas a la hora de su cultivo o de la investigación para mejora genética o biotecnológica, gracias a la selección asistida por marcadores (MAS). En este caso se compararon una variedad no tóxica y otra tóxica de México con cinco muestras de *J. curcas* L. recogidas de diferentes regiones geográficas de la India. No se han observado diferencias entre las variedades tóxicas y no tóxicas, excepto en su contenido en esteres de forbol. Así, hay que recordar que la identificación mediante marcadores ayudaría al cultivo selectivo de variedades mexicanas no tóxicas y proporcionaría un valor añadido al mismo por la posible utilización de la torta para alimentación animal. Además, los marcadores evitarían posibles intoxicaciones o adulteraciones en los piensos (Pamidiamarri *et al.*, 2009).

Utilizando marcadores de Polimorfismos de fragmentos amplificado (AFLP), el porcentaje de semejanza era del 83,51, mientras que con ADN polimórfico amplificado (RADP) aumentaba a 84,91. La semejanza genética entre variedades tóxicas y no tóxicas era de 0,90 y 0,92 respectivamente.

Además de ello, se han identificado 12 micro-satélites que son de los marcadores moleculares más populares y poderosos en la actualidad debido a su alto polimorfismo y a su facilidad de marcado. Presentaban una longitud media de entre 75 y 250 pares de bases. De los 12 identificados, 7 resultaron polimórficos (Pamidiamarri *et al.*, 2009).

Estos investigadores posteriormente llevaron a cabo un estudio para determinar la diversidad genética entre 28 muestras de germoplasma de diferentes áreas geográficas de la India. Este cultivo se caracteriza por producir cosechas variables e impredecibles por razones que aún se desconocen, lo que hasta la fecha ha limitado su cultivo a gran escala (Ginwal *et al.*, 2004) y justifica la necesidad de la mejora genética de esta especie. Para ello es muy importante la caracterización correcta del germoplasma. Los estudios genéticos más recientes en el género *Jatropha* (Pamidiamarri *et al.*, 2009) utilizando RAPD y AFLP han encontrado que *J. curcas* es genéticamente más similar a la especie *J. integerrima* que cualquier otra de este género, lo

que explica su alta hibridación inter-específica. El porcentaje de polimorfismo²⁵⁸ resultó ser del 50,70% y 60,95% respectivamente con RAPD y AFLP. El hecho de que este último sea mayor que el encontrado en estudios previos se puede deber a la inclusión de germoplasma de un mayor rango de áreas geográficas.

Otro estudio llevado a cabo en el Instituto de Investigación Química de Gujarat (India) por parte de Pamidiamarri *et al.*, (2009b) tenía por objeto determinar la amplitud de la variabilidad genética y establecer las relaciones filogenéticas que existen entre 7 especies del género *Jatropha* ampliamente distribuidas en la India: *J. curcas* L., *J. glandulifera* y *J. integerrima* (nativas de América) (Sunita, 2005); *J. gossypifolia* (Australia), *J. multifida* (México), *J. podagrica* (África, Asia y América Latina) (Olapeyu, 2007) y *J. tanjorensis* (India), mediante marcadores de RAPD y AFLP²⁵⁹. El estudio concluyó que el porcentaje de sitios en el genoma que son polimórficos entre estas especies era del 97,74% por RAPD y del 97.25% por AFLP. La media de porcentaje de polimorfismo era del 68,48% RAPD y 71,33% por AFLP. Como otros autores (Basha *et al.*, 2007) citados previamente, en este caso se encontró la mayor analogía genética también entre *J. curcas* L. y *J. integerrima*, lo que viene a apoyar que sea esta la razón del éxito de la hibridación entre ambas. *J. glandulifera* es la especie más divergente de las 7 estudiadas, como ya habían identificado otros autores (Ganesh *et al.*, 2008). Ni los datos obtenidos por RAPD ni por AFLP sugieren que *J. tanjorensis*, sea un híbrido natural interespecífico entre *J. curcas* y *J. gossypifolia*. Este estudio concluyó igualmente que de todas las técnicas de PCR existentes, RAPD y AFLP son las más adecuadas para generar marcadores eficientes para la identificación entre especies (Sudheer *et al.*, 2009).

Como se está poniendo de manifiesto, en la India se está llevando a cabo un importante esfuerzo para caracterizar el material genético disponible de esta especie con objeto de mejorar el cultivo mediante la obtención de los mejores parentales. Un trabajo más reciente (Sunil *et al.*, 2011) ha recogido 34 muestras de diferentes localizaciones para intentar correlacionar la diversidad

²⁵⁸ Resulta de la fórmula $PP = \frac{n^\circ \text{ total de bandas polimórficas}}{n^\circ \text{ total de bandas}} \times 100$.

²⁵⁹ RADP (Random....) *op.cit.*

molecular con los rasgos fenotípicos mediante marcadores moleculares RADP de repetición de secuencia simple (ISSR). Estos autores observaron una significativa variación en rasgos fenotípicos de los siguientes caracteres: altura de la planta (90-125 cm); distribución del canopo²⁶⁰ (40-170 cm); longitud del punto de inserción (12-32 cm); n° ramas primarias (2-16); longitud del peciolo (8,5-25,5 cm); longitud del pedículo (1,7-7,0 cm); n° de frutos por planta (4-55) y contenido en aceite (17,5-36,6%). Posteriormente buscaron la confirmación a nivel molecular de esas diferencias y observaron que en dos de las muestras que se presentaba diferenciación fenotípica acusada, no se correspondía a nivel molecular. La longitud del pedículo resultó ser el rasgo más identificativo para clasificar las plantas, además del color de la hoja, tipo de hoja, momento de floración y tipo y n° de inflorescencias (Sunil *et al.*, 2011).

J. curcas L. es una especie con un genoma pequeño, que tiene dos cadenas con un tamaño de 0,85 picogr²⁶¹ y una media de 38,7% de bases guanina-citosina. El cariotipo está formado por 22 cromosomas metacéntricos y submetacéntricos. Todos estos análisis inter- e intra- específicos indican que se trata de una especie con una diversidad genética baja, en consonancia con observaciones de otros científicos (Basha *et al.*, 2007) probablemente porque se haya dado poca actividad antropogénica de propagación sobre la misma. En cualquier caso, es evidente que para mejorar la especie genéticamente es muy importante establecer las distancias genéticas del germoplasma de distintas áreas geográficas y analizar la diversidad genética para caracterizar el germoplasma.

En cuanto a la posible alergenicidad de los componentes de la *J. curcas*, L. también existe realmente poca bibliografía científica. En general, se sabe que el polen y las semillas de las plantas contienen proteínas alergénicas con propiedades defensivas tales como proteasas contra los insectos, inhibidores de amilasas o factores antifúngicos. Todos ellos, aunque protegen a la planta pueden tener efectos tóxicos para los animales y las personas (Makkar *et al.*, 1999).

²⁶⁰ Canopo: Cápsula (...) *op.cit.*

²⁶¹ Unidad de masa del Sistema Internacional de Unidades (SI), equivalente a la billonésima parte de un gramo.

Por primera vez en el 2009 se ha purificado y parcialmente caracterizado la primera proteína alergénica conocida (Jatc1) de *J. curcas* L. (Maciel *et al.*, 2009). Esta proteína presenta características similares a las albúminas 2S²⁶² de otras fuentes y es capaz de producir reacciones cruzadas con la IgE frente a la albúmina 2S del haba de ricino produciendo desgranulación celular en mastocitos²⁶³ de rata *in vitro*. *In vivo*, la albúmina 2S de *J. curcas* L. también produjo reacción cruzada con alérgenos del haba del ricino, como se demostró con el ensayo PCA.

La proteína tiene un peso molecular de unos 12 kDa ²⁶⁴ y está glicosilada. Dado que la mayoría de los alérgenos de plantas alimenticias son proteínas relacionadas con la patogenicidad, y que las albúminas que se almacenan en las semillas y las globulinas o δ -amilasas e inhibidores de proteasas, en general corresponden a albúminas 2S, no es sorprendente que la Jatc1 de *J. curcas* L. sea un importante alérgeno en esta *Euphorbiacea*. Parece ser que además tiene un potencial alergénico intrínseco. Lo que no se ha comprobado hasta la fecha es si el epítipo²⁶⁵ de unión con la IgE es continuo o discontinuo. Desde que la alergia a las semillas oleaginosas ha surgido como una condición clínica importante debido al incremento de su uso para producir biodiesel, y dado el riesgo de reacciones cruzadas, como las observadas entre los alérgenos de *J. curcas* L. y de *Ricinus communis*, sería importante profundizar en estos estudios de identificación y caracterización para desarrollar terapias específicas (Maciel *et al.*, 2009).

Otra molécula recientemente aislada de la raíz de *J. curcas* L. es el Jatrolactano (I). Se trata de un nuevo diterpeno que posee un esqueleto con

²⁶² Coeficiente de sedimentación 2.

²⁶³ Los mastocitos o células cebadas se originan en las células madre de la médula ósea, actuando en la mediación de procesos inflamatorios. Son células que sintetizan y almacenan histaminas y que se encuentran en la mayoría de los tejidos del cuerpo, por debajo de las superficies epiteliales, cavidades serosas y alrededor de los vasos sanguíneos. En una respuesta alérgica, un alérgeno estimula la liberación de anticuerpos, los cuales se unen a la superficie de los mastocitos.

²⁶⁴ Kilo Dalton.= Unidad de masa atómica.

²⁶⁵ Un epítipo es la parte de una *macromolécula* que es reconocida por el sistema inmunológico, específicamente por *anticuerpos*, *células B* o *células T*. Aunque se piensa que los epítipos provienen de proteínas no propias, las secuencias que se obtienen del huésped que pueden ser reconocidas son también clasificadas como epítipos.

una estructura tricíclica que no tiene precedentes. La actividad citotóxica *in vitro* de este componente se evaluó en 3 líneas celulares de cáncer humanas: A549 (cáncer de pulmón), HT-29 (cáncer de colon) y A431 (carcinoma escamoso epidérmico). El diterpeno no presentaba una actividad inhibidora sobre estas líneas celulares, a diferencia de otros diterpenos aislados anteriormente de esta planta (Wang *et al.*, 2009).

3.2.3.2. Actividad enzimática de la planta.

En 1999 se aislaron 2 esterasas (JEA y JEB) así como una lipasa (JL) de las semillas de *J. curcas* L. (Staubmann *et al.*, 1999). La actividad de la lipasa se daba exclusivamente en el momento de la germinación de la semilla y se incrementaba al máximo a los 4 días de la misma, decreciendo después a menos del 80%. Se vio que todas estas enzimas eran mucho más activas en un rango alcalino de pH 8. Se caracterizaron completamente. El peso molecular de las 2 esterasas se movía en un rango de 21,6 a 30,2 kDa. El uso de ambos tipos de enzimas es interesante en reacciones de trans-esterificación y en general en la síntesis orgánica. Por su parte, la alta especificidad de algunas lipasas procedentes de plantas, por los AGL de la misma planta es una de las características más interesantes para que sean explotadas en biotecnología (Lin *et al.*, 1986).

En 2009, investigadores del Colegio de Ciencias de Sichuan (República Popular China), han clonado una fosfolipasa D (PLD) aislada de *J. curcas* L. Se trata de una enzima ampliamente distribuida en la naturaleza que se encuentra en bacterias, hongos, plantas y animales. Cataliza la hidrólisis de los fosfolípidos de la membrana y regula otras muchas funciones celulares como la señal receptora, transporte intracelular de la membrana y organización del cito esqueleto. Estudios recientes han demostrado que juega un importante papel ya que da lugar al inicio de una cascada lipolítica en el deterioro de la membrana durante la senescencia²⁶⁶ y el estrés. La secuenciación de la PLD ha demostrado que tiene una gran similaridad a otras fosfolipasas de plantas en el nivel de aminoácidos. Se expresa en todos los tejidos de la planta aunque más escasamente en las semillas. En las hojas se

²⁶⁶ Envejecimiento de las plantas

expresa especialmente bajo condiciones de estrés salino (300 mM de NaCl), sequía (30%), frío (4°C) y calor (50°C). Su máxima actividad se da a pH 8 y 60°C (Liu *et al.*, 2009).

3.2.4. Posible competencia con otras especies

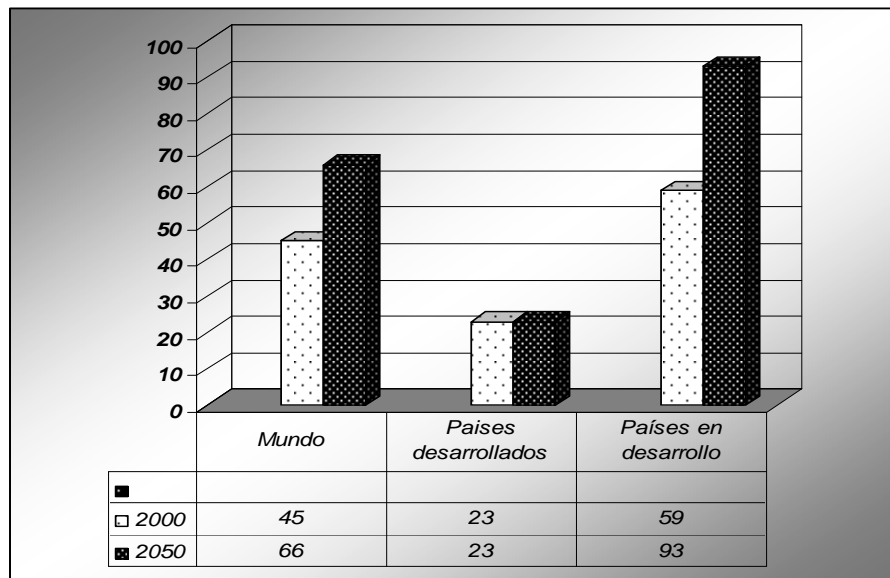
La *J. curcas* L. puede jugar un papel muy importante en la recuperación de suelos degradados gracias a su afinidad por estos. En la actualidad, la degradación de la tierra ha llegado a ser una de las principales amenazas para la disponibilidad de alimentos en el mundo, en el que existen unos 2000 Mha de suelo, equivalente al 15% de la superficie terrestre, que han sido degradadas por las actividades humanas. Los principales agentes responsables de la degradación son: erosión por el agua (56%), erosión por el viento (28%), productos químicos (12%) y prácticas físicas (4%). El PNUMA achaca las causas de la degradación a las siguientes prácticas: sobreexplotación (35%), deforestación (30%), actividades agrícolas (27%), sobreexplotación de la vegetación (7%) y actividades industriales (1%). Un total de 305 Mha de suelo van de “fuertemente degradadas” (296 Mha) a “extremadamente degradadas (9 Mha) de las cuales 5 Mha se encuentran en África. Estas últimas no tienen restauración. Evidentemente todo esto afecta fuertemente a la supervivencia física y económica de los países que la sufren (Becker y Francis, 2005).

La FAO recientemente ha hecho público que producir el 70% más de alimentos para 2.300 millones de personas adicionales de aquí a 2050, conlleva combatir el hambre y la pobreza, usar de forma más eficiente los escasos recursos naturales y adaptarse al cambio climático, como principales retos de la agricultura mundial en las próximas décadas. Este incremento previsto de la población, en gran medida en los países menos desarrollados, disminuirá la disponibilidad de tierra per cápita, a pesar de tener que producir más alimentos (FAO, 2009).

El porcentaje previsto de incremento de población en los países en desarrollo en los próximos 50 años disminuiría la disponibilidad de tierra per capita en

dichas regiones. Las estimaciones más conservadoras predicen una población mundial global de 8.900 M de habitantes (Cohen, 2003), en comparación con los actuales 7.000 M alcanzados en octubre de 2011 (Milenio Diario). Según la FAO, las reservas de tierra del mundo vienen a ser 13.400 Mha, de las cuales solamente 1.500 Mha se cultivan actualmente. La humanidad ha perdido 2.000 Mha de suelo durante el periodo de su existencia en la tierra, a causa de la degradación. Esta es muy intensa en las zonas áridas que representan unos 6.100 Mha, principalmente en Asia y África. Las proyecciones de Cohen (Gráfico 15) hablan de 93 personas por km² en los países en desarrollo para 2050 frente a las 59 actuales.

Gráfico 15.- Cambios en el número de personas por km² en el mundo



Fuente: Cohen (2003)

Si consideramos solamente la pérdida debida a la degradación, la disponibilidad per capita incluso disminuirá ya que en realidad debemos asumir que la degradación progresará proporcionalmente y es probable que afecte más severamente a los países en desarrollo

Por otro lado, el desarrollo económico ha conducido a un gran incremento de la demanda energética en muchos países en desarrollo. El ejemplo lo tenemos en China y la India que en la actualidad se encuentran entre los 5 primeros grandes emisores mundiales de CO₂ y son a su vez grandes importadores de

petróleo, lo que aumenta su dependencia de fuentes de energía externa. Vemos así que la seguridad energética ha llegado a ser un tema clave para muchos países (Becker y Francis, 2005).

En este contexto, la producción de biodiesel a partir del cultivo de la jatrofa en tierras degradadas resulta de gran interés para los países importadores de petróleo que cuentan con grandes superficies de suelo en estas condiciones o sometidos a esa amenaza. No implica pérdida de producción de alimentos ya que solamente las zonas degradadas, no susceptibles de producirlos, serían utilizadas.

La falta de medidas de protección urgente llevará a la expansión de las áreas degradadas por lo que la intervención debe ser prioritaria.

La “nuez purgante” tiene varias ventajas sobre otras plantas que pueden crecer sobre condiciones adversas. No es consumida por los animales y es una planta vigorosa y resistente a la sequía y a las plagas de vegetales. Cuando se planta como una cerca viva repele a los roedores y tiene acción fitoprotectora contra las plagas y los agentes patógenos por lo que proporciona una protección adicional a los cultivos. Las plantaciones de jatrofa atraen también a las aves que anidan y a las abejas. No produce daño a las personas que la cultivan o que manipulan las semillas o la torta. Incluso se ha visto que el ganado puede pastar entre las filas del cultivo en las grandes plantaciones (Becker y Francis, 2005).

La torta resultante después de la extracción del aceite es tóxica y generalmente se utiliza como biofertilizante y bioplaguicida. La toxicidad se debe a la presencia de esteroides de forbol y a otros antinutrientes resistentes al calor tales como las lectinas y los inhibidores de la tripsina. Una vez que sea viable la detoxificación, sería un producto para alimentación animal altamente nutritivo que ayudaría a reducir la necesidad de importar concentrados de proteínas. Diversos proyectos experimentales han demostrado que la jatrofa se comporta excelentemente en plantaciones energéticas a gran escala y puede ser cultivada en ambas, en condiciones de irrigación y de escasez de lluvias.

La *J. curcas* L. es única entre las fuentes de energía renovables en términos de los beneficios potenciales que se pueden esperar como resultado de su utilización a gran escala. Su cultivo es tecnológicamente sencillo y requiere comparativamente poca inversión de capital. El cultivo a gran escala debe fijarse el objetivo de alcanzar 296 Mha de tierras fuertemente degradadas que requieren un tratamiento antes de que sea posible producir de nuevo materias primas alimentarias en ellas. Una vez que se establece este cultivo y fertiliza el suelo, su sombra puede utilizarse para intercalar cultivos de verduras como pimientos o tomates que proporcionan un ingreso extra a los agricultores. Los beneficios de su cultivo a gran escala, como se muestra en la Tabla 30, sumados a los varios efectos positivos en un nivel macro, se acumularán en gran medida a los propietarios de tierras marginales de muchos países tropicales que a pesar de ser las víctimas de las inclemencias del clima, son los menos organizados y por tanto los menos favorecidos.

Según las normas para cumplir con los objetivos del Protocolo de Kioto, cultivos como el de jatrofa que secuestran CO₂, revestirían un interés especial como fuente de “créditos de carbono” que se adquirirían por parte de los países incapaces de controlar sus emisiones (Becker y Francis, 2005).

Tabla 30.- Análisis coste-beneficio de plantaciones de *Jatropha curcas* L. durante un período productivo de 30 años (valores referentes al cultivo de tierras marginales en la India)

Asunto	Valor	Observaciones
Plantas totales/ha	1200	Plantación de 2,9 m x 2,9 m de distancia
Producción de semillas secas/planta/año (kg.)	1.5	Con mínimos aportes a partir del 5º año
Producción total por ha /año desde el 5º	1800	444; 1111; 1333 y 1556 kg para los años 1, 2, 3 y 4
Precio de semillas secas	0,076 €	
Precio venta total/ha/año	135 €	
Ingreso adicional por los cultivos intercalados	83,8 €	33 y 50 euros durante los años 3º y 4º
Generación empleo/ha	200 personas/día durante el 1º año y 50 personas/día hasta los 29 años	
Coste de establecimiento por ha.	334 euros durante el 1º año	
Mantenimiento/ha.	84 euros por año	
Coste de laboreo	200 euros durante el 1º año y 50 euros los siguientes años	
Valor presente del coste del ciclo de vida	1122 €	-
Valor actual de retorno/hectárea.	1684 €	-
Valor presente neto	562 €	-
Porcentaje interno de retorno	20,6	-

Fuente: Becker y Francis (2005).

Se puede reivindicar una hectárea de tierra para cultivar *J. curcas* L con un gasto de 300-450 dólares en las condiciones típicas de un país en desarrollo. El coste de prestar la tierra a 20 dólares/ha/año se incluye en los costes de establecimiento y mantenimiento. Si se mejora el germoplasma, se puede aumentar la productividad por hectárea.

Los beneficios del cultivo a gran escala de la jatrofa en tierras degradadas (Becker y Francis, 2005), serían por tanto:

- Disponibilidad de combustible neutro en CO₂ en áreas rurales remotas.
- Disponibilidad potencial de concentrados de proteína de alta calidad localmente.

- Reivindicación de tierras marginales para la producción de alimentos.
- Reducción de la contaminación atmosférica.
- Secuestro de carbono para comercio de emisiones.
- Generación de empleo y desarrollo socioeconómico.

3.3. CARACTERIZACIÓN TOXICOLÓGICA DE LA *Jatropha curcas* L.

3.3.1. Principios activos y toxicidad

3.3.1.1. Principios y Mecanismos de acción

La semilla de *J. curcas* L. está formada por el 41% de cáscara y el 59% de grano. A su vez este contiene entre 40-50% de aceite (Singh *et al.*, 2008) que reúne unas características óptimas para la fabricación de biodiesel. Además contiene entre 30-32% de proteína.

La presencia de principios tóxicos y antinutricionales en la torta resultante de la extracción del aceite impide habitualmente su uso en nutrición animal o humana, a excepción de las variedades no tóxicas que existen en México. Un obstáculo crucial para las aplicaciones de esta planta como un cultivo comercial a gran escala ha derivado precisamente de la toxicidad de las semillas (Haas, 2002).

Los principios tóxicos que se encuentran en la misma son:

- diterpenos (ésteres de forbol).
- lectinas (curcina).
- agentes antinutricionales (fitatos, inhibidores de la tripsina y saponinas).
- metales pesados.

La torta tiene un alto contenido proteico por lo que durante muchos años se han realizado experimentos para eliminar de la misma las principales “sustancias tóxicas”, los ésteres de forbol, que son promotores tumorales y de proliferación celular, incluso calentando a altas temperaturas (160°C) sin resultados satisfactorios. Recientemente se ha logrado detoxificar la torta obtenida del procesamiento de las semillas mediante fermentación en estado sólido con *Pseudomonas aeruginosa* (Joshi *et al.*, 2011) o mediante extracción con etanol (Saetae y Suntornsuk, 2011).

Igualmente, científicos de la Universidad de Jangnan (China), han llevado a cabo en 2011 una evaluación de los métodos de detoxificación ensayados

hasta la fecha²⁶⁷ con el objetivo de buscar no sólo la degradación o eliminación efectiva de las toxinas, sino de mejorar las cualidades nutritivas de la torta detoxificada (Xiao *et al.*, 2011). De los resultados de esta evaluación se desprende que ningún método por sí mismo es capaz de retirar todas las toxinas y factores antinutricionales. Por el contrario, una combinación de hidrólisis enzimática (peptidasas +celulasas) y un lavado posterior con etanol (65%) produce los cambios deseados en la torta. El tratamiento reduce de manera significativa los esteroides de forbol, lectinas y las sustancias antinutricionales tales como los fitatos, saponinas, inhibidores de proteasas y factores causantes de la flatulencia. Entre todas las variantes estudiadas, la torta de jatrofa detoxificada por este método tiene las mejores características nutricionales. Además el tratamiento con 65% de etanol es más económico y toxicológicamente fiable que el metanol, por lo que es bastante prometedor (Xiao *et al.*, 2011).

3.3.1.1.1. Lectinas

Las lectinas son proteínas tóxicas que están presentes en casi todos los reinos vivos, pues se han encontrado en el reino vegetal, animal y en los microorganismos. En las plantas (fitotoxinas) se han detectado, principalmente en los cotiledones y endospermos²⁶⁸ de las semillas y constituyen del 2 al 10 % del total de las proteínas de éstas. Se encuentran en muchas de las especies habitualmente consumidas por los animales y por el hombre.

En el reino animal se han encontrado en invertebrados, tales como cangrejos, camarones, caracoles, lombrices y moluscos. Están presentes fundamentalmente en la hemolinfa²⁶⁹ y en los órganos sexuales (Hernández *et al.*, 1999).

²⁶⁷ Desgraciadamente el método de extracción de toxinas mediante fermentación con *Pseudomonas*, recientemente descubierto, no estaba incluido en la revisión realizada por dichos autores por lo que no se pudo comparar la calidad de la proteína resultante.

²⁶⁸ Endospermo es el tejido nutricional formado en el saco embrionario de las plantas con semilla.

²⁶⁹ Hemolinfa es el líquido circulatorio de los artrópodos, moluscos y otros invertebrados. Es similar a la sangre de los vertebrados. Su composición varía mucho de una especie a otra. Puede ser de diferentes colores o incluso incolora; los pigmentos suelen proceder de la alimentación o de los procesos metabólicos. Se encarga entre otras funciones del transporte

La Curcina es una lectina o toxoalbúmina que se encuentra principalmente en la semilla, pero también en el fruto y en la savia; fue aislada de la semilla de *J. curcas* L. por Felke en 1914. Se trata de una proteína de cadena sencilla del tipo I de las Proteínas Inactivantes de Ribosomas (RIP) (Barbieri, 1993).

Es una proteína de gran pureza y compuesta por dos sub-unidades de peso molecular 23.450 y 11.500. El análisis de aminoácidos demostró que contiene una alta proporción de ellos tanto ácidos como básicos (Cano *et al.*, 1989).

Las lectinas son proteínas grandes de alta toxicidad, solubles en agua y que se destruyen mediante calor húmedo. Su característica más importante es la capacidad para combinarse de forma reversible con azúcares y glicoconjugados de forma altamente específica. Debido a su enlace con las glicoproteínas de las microvellosidades intestinales, actúan alterando la adsorción de nutrientes. Otros efectos tóxicos se manifiestan por su entrada al sistema circulatorio. En las plantas parecen estar implicadas en la relación simbiótica entre las leguminosas y las bacterias fijadoras de nitrógeno, como parte de un mecanismo de defensa frente a los predadores (Liener, 1997).

Experimentalmente se ha visto que son muy resistentes a las enzimas del tracto digestivo llegando a encontrarse lectinas activas en las heces de ratas y del hombre que las han ingerido con el alimento. Este hecho es de gran importancia en la nutrición ya que los aminoácidos derivados de las lectinas, no están disponibles para quien las consume, lo que permite que esta molécula pueda unirse a las células del epitelio intestinal (Moreira, 1991). Su mecanismo de acción está muy estudiado en los mamíferos. Como se absorben poco en el tracto digestivo, para que se de una liberación de la misma es preciso, en el caso de las vegetales, pinchar o masticar la cubierta de la semilla (Furbee *et al.*, 1997).

Las lectinas vegetales se asemejan a las proteínas bacterianas en estructura y efectos fisiológicos. Son sensibles al calor y se pueden identificar fácilmente

de nutrientes hacia los tejidos y de materiales de desecho a los órganos excretores. Contiene células sanguíneas de diferentes tipos y funciones.

por reacciones de precipitación en suero que contenga los anticuerpos correspondientes.

El estudio de las lectinas lo comenzó Stillmark que en 1888 describió el fenómeno de la hemaglutinación con extractos de semillas de ricino (*Ricinus communis*). A la proteína responsable de la aglutinación de los eritrocitos la denominó Ricina. Más tarde, Hellin (1891) descubrió que el extracto tóxico de semillas de *Abrus precatorius* también producía aglutinación de estas células y a la proteína responsable la denominó abrina. A fines de los años 40 Boyd y Reguera, comunicaron que ciertas semillas contenían aglutininas específicas para antígenos de los grupos sanguíneos humanos. La primera lectina que fue obtenida en forma cristalina fue la concanavalina A del frijol *Canavalia ensiformis* en 1919 por Sumner (Tabla 31) (Hernández *et al.*, 1999).

El término lectinas fue introducido por Boyd *et al.*, (1954). Su interpretación no ha sido uniforme debido al desconocimiento acerca de las funciones fisiológicas de éstas. Existen diferentes definiciones, pero la mayoría de autores consideran que las lectinas son proteínas o glicoproteínas de origen no inmune, fijadoras de carbohidratos con capacidad para aglutinar células y precipitar glicoconjugados, entre otros (Goldstein, 1980; Moreira *et al.*, 1991; Furbee *et al.*, 1997).

Para caracterizarlas correctamente es preciso determinar si son inhibidas específicamente por mono u oligosacáridos. Esta especificidad generalmente se determina por técnicas de inhibición, comparando los azúcares sobre la base de la concentración mínima para inhibir la hemaglutinación o las reacciones de precipitación (Moreira *et al.*, 1991).

Tabla 31.- Hitos más importantes en la historia de la identificación y aislamiento de las lectinas

Año	Autor	Descubrimiento
1884	Warden y Waddle	- Toxicidad en extractos de semillas de <i>Abrus precatorius</i>
1886	Dikson	- Toxicidad en extractos de semillas de <i>Ricinus communis</i>
1888	Stillmark	- Actividad hemaglutinante en extractos semillas ricinos communis
1890	Power y Cambier Erich	- Toxicidad en extractos semillas de <i>Croton tiglium</i> - Uso de ricina y abrina en investigación inmunológica
1891	Hellin	- Actividad hemaglutinante en extractos semillas <i>Abrus precatorius</i>
1893	Siegel	- Actividad hemaglutinante en extractos semillas de <i>Jatropha curcas</i>
1897	Elfstrand	- Actividad hemaglutinante en extractos semillas de <i>Croton tiglium</i>
1899	Camus	- Introducción del término Hemaglutinina - Actividad hemaglutinante en caracoles (<i>Helix</i> sp)
1902	Landsteiner Kauss	- Reversibilidad de la hemaglutinación por calor - Inhibición de la actividad hemaglutinante por suero no inmune
1903	Noguchi	- Actividad hemaglutinante en cangrejo (<i>Limulus</i> sp.)
1907	Lansteiner y Raubischek	- Actividad hemaglutinante en plantas no tóxicas
1908	Wienhaus	- Aglutinación de leucocitos y células de riñón e hígado
1909	Mendel	- Actividad hemaglutinante en extractos de semillas de <i>Robinia pseudoacacia</i>
1909	Lansteiner Lansteiner y Raubischek	- Inhibición de la actividad hemaglutinante por suero tratado con calor - Inhibición de la actividad hemaglutinante por la mucina
1912	Schneider	- Hemaglutininas y germinación
1917	Osborne Mendel	- Termoinactivación de factores tóxicos de soja
1919	Summer	- Aislamiento y cristalización de la Concanavalina A
1926	Marcusum-Begun	- Aplicación de lectinas para marcaje sanguíneo
1935	Sugishita	- Especificidad de las aglutininas del suero
1936	Summer y Howell	- Especificidad a glúcidos de Concanavalina A
1947	Boyd y Reguera	- Especificidad a grupos sanguíneos de hemaglutininas de plantas
1949	Liener	- Toxicidad de hemaglutininas de <i>Phaseolus vulgaris</i>

1949	Jaffé	- Termoinactivación de hemaglutininas de <i>Phaseolus vulgaris</i>
1952	Watkins y Morgan	- Inhibición de lectinas por azúcares simples
1954 1960	Boyd y Sharpleigh Nowell	- Demostración con ayuda de las lectinas de que los azúcares son determinantes de los grupos sanguíneos - Introducción del término lectinas - Estimulación mitogénica de linfocitos por de <i>Phaseolus vulgaris</i>
1963 1964	Aub Muelenaere	- Aglutinación de células malignas por lectinas - Inactivación paralela de actividad hemaglutinante y antinutricional mediante calor
1965 1966	Agrawal y Goldstein Boyd	- Cromatografía de afinidad para purificación de lectinas - Lectinas en algas
1970 1974	Apsberg Ashwell y Morell	- Uso de la Con A para purificación por afinidad de glicoproteínas - Papel de lectinas animales en la endocitosis de glicoproteínas
1976 1977	Gallo Ofek et al.	- Interleukina 2 descubierta en un medio de linfocitos estimulados por lectinas - Papel de lectinas bacterianas en la infección.
1980 1981	Pusztai Reisner et al.	- Interacción de lectinas de <i>Phaseolus vulgaris</i> con la pared intestinal - Uso de lectinas en trasplante de hueso
1984 1987	Yagko et al. Harban-Mendoza et al	- Uso combinado de lectinas y enzimas en identificación clínica de microorganismos - Control de nematodos de la raíz por lectinas.
1988 1989	De Oliveira et al. Diaz et al.	- Lectinas e hipertrofia del páncreas. - Lectinas de la raíz como un determinante específico en la simbiosis <i>Rhizobium</i> -leguminosa
1990	Yamauchi y Minamikawa	- Expresión de la ConA en células de <i>E. coli</i>

Fuente: Moreira *et al.* (1991)

La molécula de las lectinas, ricina y abrina tiene una doble cadena A y B de polipéptidos, unidas por dos enlaces disulfuro, mientras que otras lectinas carecen de estos enlaces (Moreira *et al.*, 1991).

Las células de los mamíferos tienen una gran cantidad de glicoproteínas y glicolípidos con residuos de galactosa, en disposición de unirse a la cadena B. Esto facilita la endocitosis de las toxinas, mientras que la cadena A, una vez

que se encuentra en el interior de la célula, se encarga de impedir la síntesis de proteínas atacando a los ribosomas, por lo que se produce la muerte celular o apoptosis. Algunas lectinas son transportadas a los lisosomas²⁷⁰ o regresan a la superficie celular. En un lisosoma o fuera de la célula no pueden producir daño. Sin embargo, pueden pasar desde los endosomas al aparato de Golgi. En el retículo endoplasmático, la cadena A depura el ARN 28S por la eliminación de un residuo de Adenina (Lord *et al.*, 1996).

La ricina²⁷¹ también altera la homeostasis del calcio en el sistema cardiovascular, disminuyendo la ingesta por parte del retículo sarcoplásmico e incrementando el intercambio $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$ (Ma *et al.*, 1995).

La principal lesión asociada a la ingestión de lectinas es la gastroenteritis. Histológicamente se ha comunicado que se produce disrupción de las microvellosidades del yeyuno. Tras su absorción, normalmente es transportada al hígado, bazo y músculo. En estos órganos produce lesiones reversibles, daños endoteliales vasculares, edemas y mialgias (Ma *et al.*, 1995).

No existe ninguna sustancia con capacidad de neutralizar a las lectinas, es decir que hasta la fecha no se ha identificado un antídoto frente a esta intoxicación, por lo que lo más importante es impedir su absorción. Por tratarse de un tóxico que se absorbe por vía digestiva, la indicación es proceder al vaciado gástrico mediante un emético e intentar la adsorción del tóxico en el tubo digestivo mediante carbón activado por vía oral y a continuación usar catárticos. Para proceder al vaciado gástrico se utiliza habitualmente el jarabe de ipecacuana²⁷² que es una sustancia emética (provoca el vómito). Su efectividad está limitada por el tiempo de actuación,

²⁷⁰ Los lisosomas son orgánulos relativamente grandes, formados por el retículo endoplasmático rugoso (RER) y luego empaquetadas por el complejo de Golgi, que contienen enzimas hidrolíticas y proteolíticas que sirven para digerir los materiales de origen externo (heterofagia) o interno (autofagia) que llegan a ellos. Es decir, se encargan de la digestión celular.

²⁷¹ Ricina es la lectina que está presente en la especie *Ricinus communis*.

²⁷² Esta sustancia se obtiene de la raíz de *Cephaelis ipecacuana* y de *Cephaelis acuminata*, siendo la emetina y la cefalina sus principios activos. Ambas estimulan el centro emético. La indicación preferente del jarabe de ipecacuana es en pacientes en edad pediátrica, conscientes y con ingesta moderada del tóxico, lo que cuadra perfectamente con la mayoría de las intoxicaciones que se producen a causa del consumo de semillas de *J. curcas* L.

considerando que el momento óptimo se encuentra dentro de las 2 primeras horas tras la ingesta de la sustancia tóxica.

La localización ultraestructural de las lectinas y su comportamiento durante el ciclo de vida de la planta son de extrema importancia para la evaluación de sus funciones (Moreira *et al.*, 1991).

La gran mayoría de las lectinas de plantas están presentes en los cotiledones de las semillas y se localizan en el citoplasma, llegando a representar hasta el 10% del nitrógeno de la planta. Se han sugerido varias hipótesis sobre sus funciones fisiológicas, basadas en sus propiedades generales y en su localización. Así, las lectinas pueden jugar un papel importante como reserva de proteínas y como mecanismo de defensa contra los agentes patógenos (Moreira *et al.*, 1991).

Si bien desde los años 70 se ha especulado también con la posible implicación de las lectinas en la especificidad de la simbiosis *Rhizobium* – leguminosas (Hamblin, 1973; Bohlool, 1974; Dazzo, 1978), en los últimos años se ha publicado una gran cantidad de artículos sobre este tema y se han acumulado numerosas evidencias que lo sugieren (Díaz *et al.*, 1989; Hervé *et al.*, 1996; Bhuvaneswari y Bauer, 1978), incluso mediante el uso de plantas transgénicas. Todavía se desconoce el componente crítico de la traducción de la señal. Tal vez las lectinas juegan un papel activo en la propagación de la señal que conduce al desarrollo del nódulo (Hirsch, 1999).

Aparentemente participan en la organización celular, en la morfogénesis del embrión y en la fagocitosis y protección celular. Además se ha sugerido un papel activo en el transporte de carbohidratos y en la fijación en la planta, así como en el crecimiento y elongación de la pared celular, en la mitosis inducida de callos y protoplastos²⁷³ y en el reconocimiento del polen (Moreira *et al.*, 1991).

²⁷³ El protoplasto es una célula desnuda, rodeada por su membrana plasmática, potencialmente capaz de regenerar la pared celular, crecer y dividirse.

La principal característica de las lectinas de las plantas son sus lugares de unión específicos a azúcares. Es evidente que esta propiedad no debe ser casual y tiene que ser importante para la fisiología de la planta. Así, deben existir receptores que contienen carbohidratos en los tejidos donde se encuentran o con los que eventualmente están en contacto. La identificación de estos receptores es esencial para la confirmación de esta hipótesis. De hecho ya se han identificado en algunas plantas, en pequeñas cantidades, pero su papel potencial y su significado no están claros todavía (Moreira *et al.*, 1991).

Con respecto al metabolismo de las lectinas durante el ciclo de vida de la planta, el primer informe fue elaborado por Von Eysler y Von Portheim en 1911 y por Schneider en 1912. Ellos mostraron que la desaparición de las lectinas de los órganos de reserva de nutrientes, parece ser similar al porcentaje total de degradación proteica. Posteriormente un comportamiento similar se encontró en las lectinas de otras plantas (Moreira *et al.*, 1991). A diferencia de esto, también se ha visto que la degradación de las lectinas de *Ricinus communis* es mucho más lenta que la de otras proteínas (Moreira *et al.*, 1991).

En otro estudio (Moreira y Cavada, 1984), se vio que durante el desarrollo de la semilla, la síntesis y acumulación de lectinas mostró un ligero retraso cuando se comparaba con la cantidad de proteína de reserva. En las primeras etapas del desarrollo de la semilla, la lectina se sintetiza como un precursor, con una actividad pequeña como hemaglutinante, pero con una alta afinidad por los dextranos. El precursor tenía un peso molecular más alto que la lectina activa total y los tetra péptidos extra en la porción N-terminal (Moreira *et al.*, 1991).

La curcina, presente en la jatrofa, si bien es una lectina, es 1.000 veces menos tóxica que la ricina y la abrina. Es incapaz de atravesar la membrana celular, probablemente por falta de transportadores, por lo que no se absorbe prácticamente en el tracto digestivo (Adolf *et al.*, 1984).

3.3.1.1.2. Terpenos

Las plantas producen numerosos compuestos de bajo y alto peso molecular normalmente denominados metabolitos primarios y secundarios. La importancia de los metabolitos vegetales secundarios en medicina, agricultura e industria ha atraído mucha investigación en torno a su síntesis química y actividades biológicas. No obstante se conoce poco de su papel en la naturaleza (Gershenz y Dudarev, 2007). Los metabolitos vegetales secundarios se dividen en tres categorías: (1) Terpenos o terpenoides, (2) Alcaloides, y (3) Compuestos fenólicos. Los terpenos constituyen el mayor y más diverso grupo de productos naturales (Devappa *et al.*, 2011). El término terpeno hace referencia a moléculas de hidrocarburos mientras que terpenoide quiere decir un terpeno que ha sido modificado, por ejemplo por adición de una molécula de oxígeno (Zwenger y Basu, 2008).

Tabla 32.- Diterpenos presentes en la especie *Jatropha curcas* L.

Diterpenos	Actividad biológica
Caniojano	Antiesplasmódico Citotóxico
15-O-acetyl-15-epi-(4E)-jatrogrossidentadion	Sin actividad
(14E)-14-O-acetyl-5,6-epoxyjatrogrossidentadion	Sin actividad
3 β -acetoxy-12-metoxo-13-metil-podocarpa- 8,11,13-trien-7-one	Sin actividad
3 β ,12-dihidroxy-13-metilpodocarpano-8,10,13-triene	Sin actividad
Curcasona A	Efecto anti-invasivo en células tumorales
Curcasona B	Efecto anti-invasivo en células tumorales
Curcasona C	Citotóxico

Curcasona D	Citotóxico
Jatroferol	Insecticida Rodenticida
Curculatirano A	Sin actividad
Curculatirano B	Sin actividad
(+) Jatrolol	Sin actividad
<i>Jatropha</i> factor C1	Citotóxico, molusquicida
<i>Jatropha</i> factor C2	Rodenticida
<i>Jatropha</i> factor C3	-
<i>Jatropha</i> factor C4	-
<i>Jatropha</i> factor C5	-
<i>Jatropha</i> factor C6	-
<i>Heudolotinone</i>	Sin actividad
<i>Jatrolactano</i>	Citotóxico
Palmarumycin CP1	Antibacteriano
Palmarumycin JC1	Antibacteriano
Palmarumycin JC1	Antibacteriano

Fuente: Devappa *et al.* (2011)

A pesar de existir cerca de 25.000 terpenos se ha investigado muy poco desde el punto de vista funcional, pero se sabe que son vitales para muchos organismos. Aunque parece que las plantas fabrican estos compuestos en respuesta a factores de estrés, en ocasiones emiten terpenoides para atraer insectos polinizadores o especies predadoras (Kesler y Baldwin, 2001). Otros autores (Cheng *et al.*, 2007) han comunicado que los terpenos pueden actuar como mensajeros químicos que afectan a la expresión de los genes implicados en las funciones de defensa de la planta. Muchos actúan como toxinas, inhibidores del crecimiento o como disuasor para microorganismos y animales (Devappa *et al.*, 2011).

Los terpenos se clasifican en base al número y organización estructural de los carbonos formados por las unidades de isopreno y posterior ciclación y reagrupamiento del esqueleto de carbono. Los diterpenos derivan del geranil,

geranil piro-fosfato y se clasifican según su origen biogénico como acíclicos, bicíclicos, tricíclicos, tetracíclicos, macrocíclicos y compuestos mixtos (Devappa *et al.*, 2011).

Las *Euphorbiaceae* contienen numerosos diterpenoides y triterpenoides con diversas actividades biológicas (citotoxicidad o cicatrización de heridas) así como otras actividades biológicas más controvertidas como producción de tumores y actividad antitumoral (Goel, 2007).

A pesar de la presencia de compuestos tóxicos, muchas especies de *Euphorbiaceae* tienen un gran interés comercial por los productos que se obtienen de las mismas (caucho, resinas y ricino entre otros) (Sujatha *et al.*, 2008).

Los Ésteres de forbol parecen ser los principales agentes tóxicos presentes en la *J. curcas* L. Si bien hasta la fecha se han aislado más de veinte (Devappa *et al.*, 2011) como se muestra en la Tabla 32, hay 6 tipos especialmente importantes en esta planta: Jatropha Factor C1- C6 (Goel *et al.*, 2007)

El término “forbol” se utiliza para describir el grupo de compuestos que se encuentran en la naturaleza, ampliamente distribuidos en las especies de plantas de las familias *Euphorbiaceae* y *Thimelaceae*. Son diterpenos tetracíclicos de 20 carbonos, constituidos por 4 unidades de isopreno (Joshi *et al.*, 2011). Son moléculas anfifílicas²⁷⁴ que se unen a los receptores de membrana de los fosfolípidos y actúan como activadores de la proteína quinasa C, implicada en la transmisión de la señal, lo que provoca la proliferación celular.

Los ésteres de forbol son compuestos policíclicos en los cuales dos grupos hidroxilo se esterifican a ácidos grasos en los carbonos más próximos. Se ha descrito que están presentes en las siguientes plantas: *Sapium indicum*, *Sapium japonicum*, *Euphorbia frankiana*, *Euphorbia cocrulescence*, *Euphorbia*

²⁷⁴ Sustancia que contiene en sus moléculas conjuntamente uno o varios grupos hidrófilos y uno o varios grupos lipófilos.

ticulli, *Croton spareiflorus*, *Croton tigilium*, *Croton ciliatoglandulifer*, *Jatropha curcas*, *Excoecaria agallocha*, y *Homalanthus nutans*²⁷⁵ (Beutler *et al.*, 1989).

La exposición indirecta a estas plantas procede del consumo de productos animales que estén contaminados con estos compuestos, tales como miel o carne de caza que se vuelven tóxicos por el material vegetal, la carne y la leche de aquellos que hayan podido ser alimentados con estas plantas tóxicas (Zayed *et al.*, 1998).

El ester de forbol más activo, el 4 β -12-*O*-tetradecanolforbol-13-acetato (TFA), se encontró por primera vez en la planta del croton, un arbusto del sudeste asiático de la familia de las *Euphorbiaceae*. La interacción de los ésteres con la proteína quinasa C afecta a la actividad de varias enzimas, biosíntesis de proteínas, ADN, poliaminas, procesos de diferenciación celular y expresión génica. La toxicidad se ha demostrado suficientemente con varios modelos animales alimentados con plantas que contienen estos compuestos, tales como cabras (Adam y Magzoub, 1975); ratones (Li *et al.*, 2010); ratas (Ratshik *et al.*, 2008) y humanos (Rai y Lathanpal, 2008). La actividad molusquicida también se ha demostrado, indicando su potencial como bioplaguicida (Goel *et al.*, 2007).

La estructura de los ésteres de forbol depende del esqueleto de carbono del diterpeno tetracíclico, conocido como tigliano (Figura 7). Esta es la fracción alcohólica fundamental de los ésteres de forbol. El Tigliano contiene 4 anillos conocidos como A, B, C y D. La hidroxilación de la estructura básica en diferentes posiciones y el enlace al ester en varias fracciones ácidas lo que origina la formación de diferentes variedades de ésteres de forbol. El forbol o diterpeno origen del ester contiene 5 grupos hidroxilo con diferente reactividad por la acilación (Goel *et al.*, 2007).

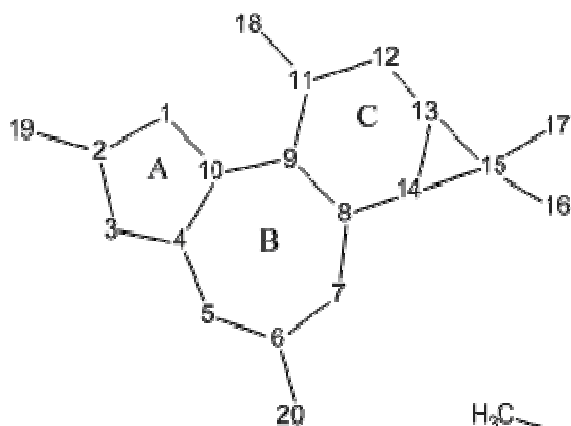
En 2006, Ríos y Aguilar-Guadarrama identificaron 4 derivados de forbol que contienen nitrógeno procedentes del *Croton ciliatoglandulifer*, que induce la

²⁷⁵ Entre ellas, como ya hemos visto, *J. curcas* L. contiene también otros compuestos potencialmente tóxicos.

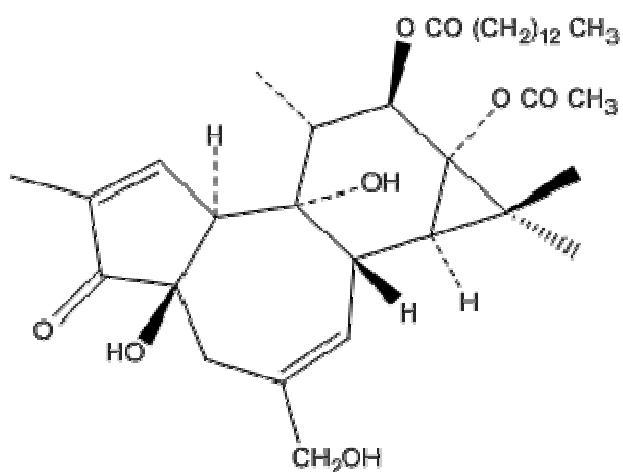
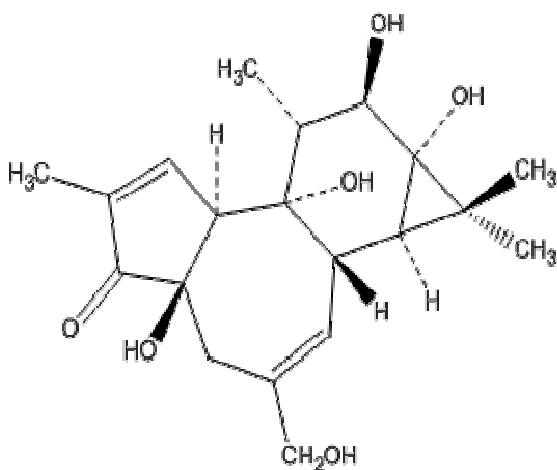
actividad anti-inflamatoria del edema de oído en ratones. Los esteres de forbol que contienen nitrógeno están restringidos a los miembros de la familia de las Euphorbiaceae (Goel *et al.*, 2007).

Figura 7.- Estructura del tetra decanol forbol 13 acetato

TIGLIANO



FORBOL



TETRADECANOL FORBOL-13-ACETATO

Fuente: Evans (1996).

Estos compuestos, en la naturaleza no son estables y son susceptibles a la oxidación, hidrólisis, trans-esterificación y epimerización durante su aislamiento (Haas *et al.*, 2002). Debido a su sensibilidad al oxígeno, el aislamiento debe realizarse en condiciones libres de oxígeno: los disolventes deben estar privados de gases y la extracción debe realizarse bajo un flujo continuo de nitrógeno o argón. Los protocolos de aislamiento implican derivación de los grupos funcionales en ésteres de forbol, principalmente acilación o esterificación de grupos hidroxilos por agentes químicos. Los forboles se separan posteriormente por cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC) (Goel *et al.*, 2007).

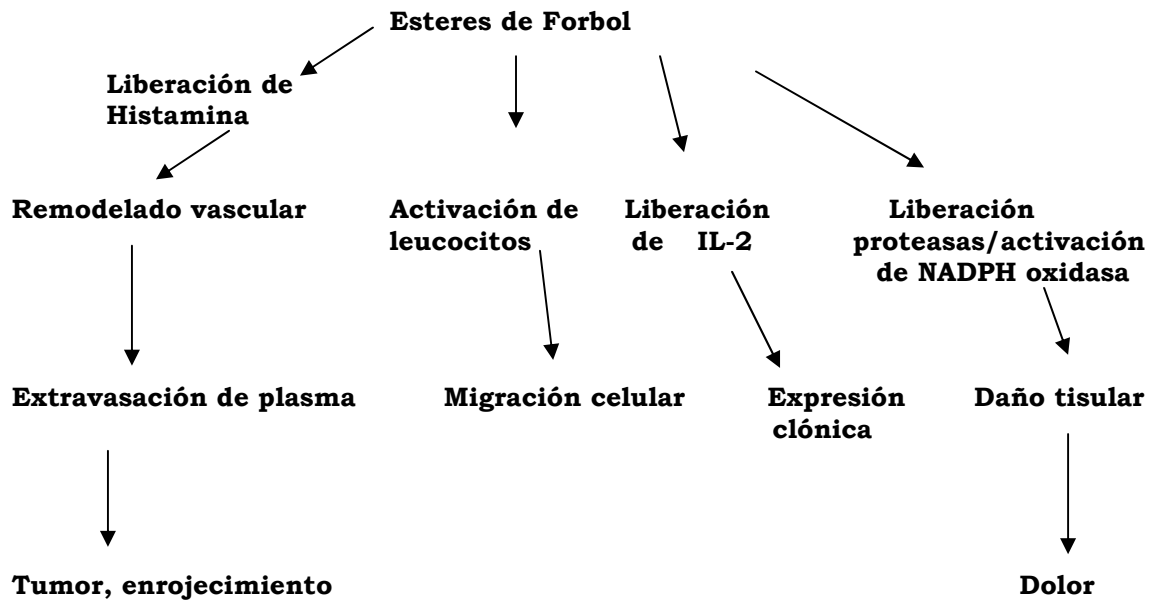
Se sabe que el forbol y sus diferentes derivados son potentes promotores tumorales. Además inducen una variedad importante de otros efectos biológicos en concentraciones excepcionalmente bajas, como un amplio rango de efectos bioquímicos y celulares como alterar la morfología celular, servir como mitógenos de linfocitos e inducir la agregación plaquetaria (Ahmed y Salimon, 2009). Son responsables de los efectos irritantes para la piel y la producción de tumores porque estimulan la proteína quinasa C, implicada en la transmisión de la señal y proceso de desarrollo de la mayoría de células y tejidos, produciendo una gran variedad de efectos biológicos en un amplio rango de organismos. Las respuestas inflamatorias se resumen en el Gráfico 16.

La acción primaria de estos compuestos se ejerce sobre las membranas biológicas. Son moléculas anfifílicas²⁷⁶, que como ya hemos comentado tienen tendencia a unirse a los receptores de los fosfolípidos de la membrana. Estos receptores son los primeros objetivos de los ésteres de forbol. Los efectos iniciales en la membrana incluyen la modificación en la actividad de los receptores celulares, aumento de la entrada de 2-deoxiglucosa y otros nutrientes, adhesión celular alterada, inducción de la liberación de ácido araquidónico y síntesis de prostaglandinas, inhibición de la unión del factor de crecimiento epidérmico a los receptores de superficie celular y metabolismo de lípidos alterado (Goel *et al.*, 2007). La actividad más estudiada de los ésteres

²⁷⁶ Producto (...) *op.cit.*

de forbol es su enlace y activación de la proteína quinasa C que juega un papel muy importante en la ruta de la señal de transducción y regula el crecimiento y la diferenciación celular.

Gráfico 16.- Respuesta inflamatoria a los ésteres de Forbol.



Fuente: Goel *et al.* (2007)

Los ésteres de forbol por sí mismos no inducen tumores sino que promueven el crecimiento tumoral tras la exposición a una dosis subcarcinógena. Por tanto, podemos denominarles como co-carcinógenos. Esto salió a la luz cuando Berenblum (1941) encontró que el aceite de croton (*Croton tiglium*) era capaz de aumentar la formación de tumores cuando se aplicaba sobre la piel del ratón, de forma conjunta o separada de un compuesto carcinógeno. Él observó que solamente sucedía cuando el aceite se aplicaba tras el carcinógeno inicialmente, pero no, si se aplicaba antes que éste. Aunque las plantas de la familia de las *Euphorbiaceae* se han utilizado para obtener productos medicinales desde hace dos milenios, los ésteres de forbol son los promotores tumorales más potentes que se conocen (Goel *et al.*, 2007).

Los ésteres de forbol alteran la fosforilación de proteínas celulares específicas e incrementan la transcripción de ciertos genes celulares. El mecanismo que se esconde tras la producción tumoral es la interacción con la proteína quinasa C que regula la ruta que induce la transcripción de genes, conduciendo a la proliferación celular. Este efecto ha sido estudiado en líneas celulares animales y humanas.

Contrariamente a esta característica, también se ha publicado la actividad apoptósica²⁷⁷ de los ésteres de forbol sobre las células tumorales. Se vio que diversos tipos de células malignas disminuyen o detienen su crecimiento en respuesta a la activación de la proteína quinasa C por los ésteres de forbol. Parece ser que este cambio de actividad se debe a su papel de activadora de una serie de rutas metabólicas, a su localización celular, su fosforilación, su interacción con otras moléculas y su accesibilidad a diferentes sustratos (Brodie y Blumberg, 2003). Para otros autores, esta situación no está clara hasta la fecha. Cualquier riesgo en términos de producción de tumores humanos debe ser inferior a, por ejemplo, la exposición a *Nicotiana tabacum* y sus productos, aunque puede tener una contribución significativa a la carcinogénesis global del ambiente (Goel *et al.*, 2007).

En relación a la *agregación plaquetaria*, la proteína activadora del plasminógeno es una proteasa, implicada en la reorganización extensa de los tejidos durante el desarrollo tumoral (Reich, 1978). El TFA y los ésteres de forbol relacionados son estimulantes potentes del activador de la síntesis del plasminógeno (Wigler, 1978). Sin embargo su capacidad para producir la agregación plaquetaria en la sangre humana, no era equivalente a otros ensayos biológicos tales como la irritación de la piel. Así, se sugirió que la agregación de plaquetas humanas podía ser el método de elección para un ensayo inicial de las sustancias que se sospeche que sean promotoras tumorales (Brynes, 1980).

Otro de los efectos de los ésteres de forbol es la *diferenciación celular*. El efecto del TFA sobre esta ha sido ampliamente estudiado. El forbol no se une mediante enlace covalente al ADN celular, pero produce efectos tales como la

²⁷⁷ Que produce la muerte celular

alteración en la morfología de la membrana, incremento de la densidad de saturación, alteración de los glicopéptidos de la superficie celular e incremento del nivel del activador del plasminógeno y ornitina-decarboxilasa. El TFA produce un cambio generalizado en las propiedades físicas de la fase lipídica de las membranas que da lugar a mayor fluidez, morfología diferente de la superficie celular y adhesión celular. También se ha señalado que se produce liberación del ácido araquidónico a partir de los fosfolípidos de la membrana. Los forboles también afectan a la diferenciación terminal con la producción de tumores (Weinstein *et al.*, 1979).

Otros efectos conocidos de los esteres de forbol son las *actividades metabólicas*. Se conoce que el forbol 12-miristato 13-acetato (FMA) afecta a muchas actividades enzimáticas a través de su interacción con la proteína quinasa C. Además se sabe que modifican los receptores limitando la ingesta de hierro por las células (Testa, *et al.*, 1984).

Los diferentes efectos biológicos de los esteres de forbol dependen de la estructura. La translocación de la proteína quinasa C a la membrana depende de la hidrofobicidad de la cadena lateral de éstos y de su habilidad para incorporarse en la membrana (Bertolini *et al.*, 2003).

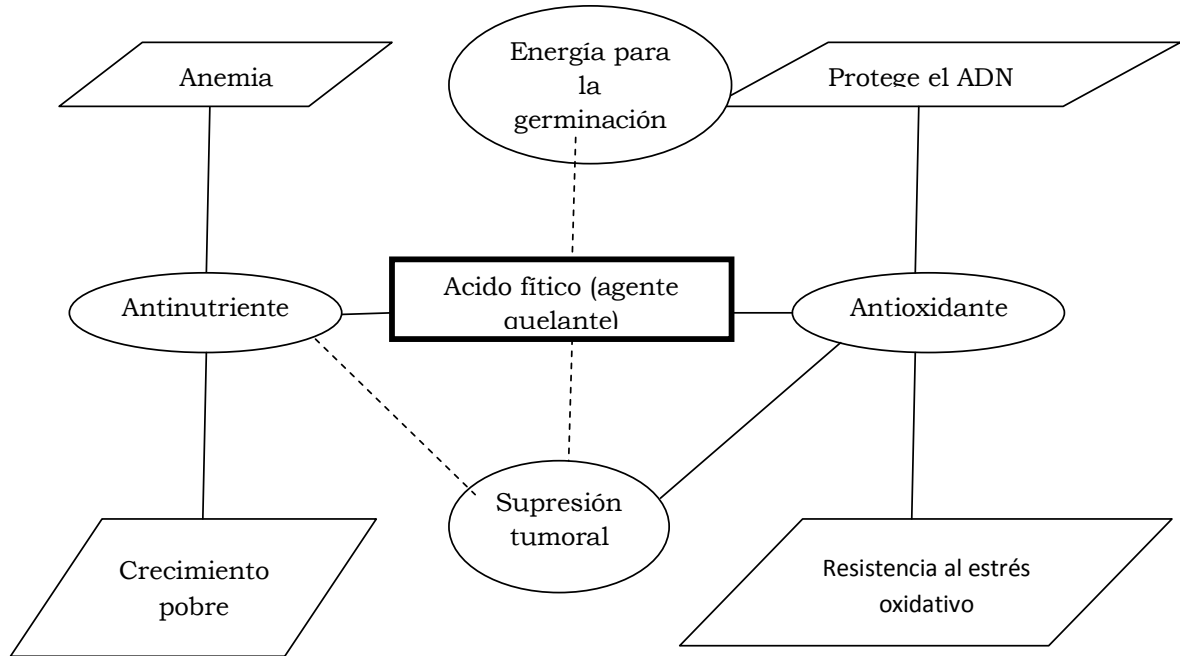
En relación con la *J. curcas* L., se sabe que el FMA ha sido identificado como el principio tóxico más importante (Makkar *et al.*, 1997). El aceite de las variedades no tóxicas de esta planta contiene cantidades despreciables de esteres de forbol (0,27 mg/ml de aceite), mientras que las variedades tóxicas contienen alrededor de 2,49 mg/ml de aceite. Haas *et al.*, (2002) determinaron el 12-deoxi-16-hidroxiphorbol en 6 diferentes diterpenos del aceite de la *J. curcas* L. utilizando la cromatografía líquida de alta resolución. Ellos denominaron a la fracción aislada como factores C1 a C6 de jatropa. El factor C2 difiere del C1 en la longitud de la cadena del carbono. Otros difieren no sólo en la longitud sino en la orientación.

3.3.1.1.3. Fitatos

El *ácido fítico* normalmente es conocido como hexafosfato de inositol (IP6) $C_6H_{18}O_{24}P_6$, o fitato, cuando se encuentra en forma de sal. El ácido fítico se biosintetiza a partir de la fosforilación del *mio*-inositol, por acción de las enzimas *mio*-inositol 3-quinasa y las *mio*-inositol polifosfato quinasas (Ali *et al.*, 2010).

Entre sus funciones (Figura 8) se encuentra la de ser el principal almacén de fosfatos de muchos tejidos vegetales. No es digestible por el hombre ni por los animales no rumiantes por la falta de fitasas, por lo que no es fuente de inositol cuando se consume. Forma quelatos con las sustancias minerales (zinc, hierro, calcio y magnesio), por lo que disminuye su absorción. El ácido ascórbico o vitamina C puede reducir el efecto del ácido fítico sobre el hierro. El ácido fítico disminuye también la absorción de determinadas vitaminas como la niacina. La formación de complejos con el calcio depende del pH (Dendougui *et al.*, 2004). Estos procesos contribuyen a deficiencias de minerales en las personas cuyas dietas se basan en estos alimentos vegetales, como las de los países en vías de desarrollo. Habitualmente por ello ha sido considerado una sustancia antinutricional pero en los últimos tiempos se ha revelado como una potente sustancia antioxidante (Ali *et al.*, 2010).

Figura 8.- Funciones del ácido fítico



Fuente: Ali et al. (2010)

En cuanto a su uso en alimentación, el ácido fítico se puede encontrar en la mayoría de los granos, semillas y fibras vegetales como se indica en la Tabla 33. Las fitasas son hidrolasas capaces de iniciar la eliminación del fosfato a partir del fitato (Feng *et al.*, 2009) y la hidrólisis de los complejos, haciéndolos más solubles para mejorar y facilitar su absorción intestinal. Se puede ingerir a partir de los probióticos a base de *lactobacillus* y otras especies de la microflora del aparato digestivo (Famularo *et al.*, 2005).

Tabla 33.- Principales fuentes de ácido fitico en alimentos

Alimento	Mínimo de extracto seco (%)	Máximo de extracto seco (%)
Harina de ajonjolí	5,36	5,36
Nuez del Brasil	1,97	6,34
Almendras	1,35	3,22
Tofu	1,46	2,90
Semilla de linaza	2,15	2,78
Copos de Avena	0,89	2,40
Judía pinta	2,38	2,38
Concentrado de proteína de	1,24	2,17
Haba de soja	1,00	2,22
Maíz	0,75	2,22
Cacahuete	1,05	1,76
Harina de trigo	0,25	1,37
Trigo integral	0,39	1,35
Bebidas de soja	1,24	1,24
Avena	0,42	1,16
Germen de trigo	0,08	1,14
Pan integral	0,43	1,05
Arroz integral	0,84	0,99
Arroz blanco	0,14	0,60
Garbanzos	0,56	0,56
Lentejas	0,44	0,50

Fuente: Reddy *et al.*, (2001)

El hecho de formar complejos con los metales es un aspecto muy interesante para la prevención del cáncer de colon porque se reduce el estrés oxidativo en el lumen del tracto intestinal (Alí *et al.*, 2010). Por este motivo, actualmente se recomienda la ingesta de granos y fibras de leguminosas para su prevención aunque no está demostrado que su consumo tenga realmente efecto sobre la prevención de este tipo de tumores. Por este efecto antioxidante se utiliza el ácido fítico también como aditivo alimentario, en concreto es el conservante E391.

El ácido fítico y sus metabolitos tienen varias funciones importantes en las semillas y los granos de cereales. Actúa como almacén de varios elementos (fósforo y energía), y como fuente de cationes del *mio*-inositol que es el precursor de la pared celular. En las células animales, podemos encontrar ampliamente distribuidos los polifosfatos de *mio*-inositol, siendo el ácido fítico el más abundante en concentraciones que varían entre 10 y 100 unidades de medida en mamíferos según el tipo celular y la etapa de desarrollo (Sasakawa *et al.*, 1995). Se ha investigado *in vitro* también la interacción del ácido fítico con proteínas intracelulares específicas y se ha podido observar la inhibición o potenciación de las actividades fisiológicas de las proteínas. La mayor evidencia de estos estudios sugiere un papel intracelular como co-factor en la reparación del ADN. Estudios con levaduras mutantes sugieren que el ácido fítico puede estar implicado en el paso de ARN mensajero del núcleo al citosol (Hanakahi, 2000).

3.3.1.1.4. Inhibidores de tripsina.

Hay algunos constituyentes intrínsecos en los alimentos que son tóxicos naturales que tienen la función de proteger a la planta de posibles predadores. Su consumo en altas concentraciones puede tener efectos nocivos para el hombre y los animales. Son por tanto factores antinutricionales que influyen en el metabolismo ya que reducen la biodisponibilidad de los nutrientes. La tripsina que es una proteasa del páncreas, es decir una enzima capaz de romper las cadenas proteicas para facilitar la absorción de aminoácidos de la

dieta, puede ser inhibida por este tipo de factores proteicos como los que se encuentran en la *Jatropha curcas* L. Se unen a la enzima y forman un complejo inactivo²⁷⁸.

La hiperplasia e hipersecreción pancreática de enzimas inactivas, la disminución de los aminoácidos azufrados, la reducción de la absorción de grasas y el retraso del crecimiento son algunos de los efectos que pueden provocar estos inhibidores. De alguna manera se originan porque las enzimas del páncreas (tripsina, quimotripsina) son ricas en aminoácidos azufrados, y el páncreas utiliza los aminoácidos para sintetizar más enzimas dando lugar al retraso en el crecimiento (Martínez y Rincón, 1997).

Estos compuestos inhibidores de tripsina pueden destruirse con el calor en mayor o menor grado dependiente del tiempo empleado, temperatura, volumen de sustancia y de agua. La temperatura tiene un efecto crítico sobre el valor nutricional ya que un calentamiento excesivo de una materia prima puede afectar el rendimiento productivo de los animales. Así estos ensayos son fundamentales para los laboratorios de control de calidad, la determinación de actividad ureásica es la más frecuente. Para la detección de un proceso térmico excesivo, se recurre hoy a una técnica basada en la propiedad que tienen las proteínas de la soja de ser solubles en una solución de hidróxido de potasio al 0,2%. Los valores de solubilidad aceptables para la harina de soja están entre 70 y 85%. En este margen se consigue una inactivación adecuada del inhibidor de tripsina y se conserva la calidad del alimento. Por debajo del 70% se consideraría que existe sobreprocesado térmico (Martínez y Rincón, 1997).

3.3.1.1.5. Saponinas

Las saponinas son metabolitos secundarios que se han aislado a partir de numerosas especies de plantas y de organismos marinos.

Se trata de moléculas de glucósidos de esteroides o de triterpenoides con un número variado de cadenas laterales de azúcares, que poseen capacidad espumante cuando se combinan con moléculas de agua. Su nombre procede

²⁷⁸ <http://www.vetifarma.com.ar/vetinews/interesgeneral.php?dest=4>

del género *Saponaria* cuya raíz históricamente se ha utilizado como jabón. Las saponinas tienen un sabor amargo y por tanto reducen la degustación en el alimento del ganado. Algunas reducen la ingesta y la ganancia de peso de los animales monogástricos no ruminantes, mientras que otras no son excesivamente peligrosas. Por ejemplo, las que se encuentran en la avena y las espinacas aumentan y aceleran la capacidad del organismo para absorber calcio, ayudando por tanto a la digestión. Sin embargo, algunos pastos contienen cantidades peligrosas de saponinas y suponen un potencial tóxico para ciertas especies animales (CORNELL UNIVERSITY, 2009).

Las características biológicas de las saponinas se han investigado mucho en las últimas décadas. Se ha observado que los extractos de plantas ricas en saponinas tienen un efecto alelopático²⁷⁹, antiinflamatorio, hemolítico, reductor del colesterol y propiedades antitumorales, pero también se conoce su efecto sobre la digestibilidad en rumiantes y que son tóxicos para animales de sangre fría e insectos. La gran variedad de conjugados de las saponinas incrementa su actividad biológica. De hecho, se han utilizado con éxito como agentes para biorremediación de metales pesados en suelos contaminados. A pesar de todo ello, sigue sin conocerse suficientemente su importancia para las propias plantas (Foerster, 2006).

Las saponinas habitualmente no plantean un problema para el forraje elaborado a partir de plantas tropicales pero sí que son bastante comunes en climas templados. El uso de alfalfa (*Medicago sativa*), en suplementos proteicos está limitado en la alimentación del ganado porcino y aves por su contenido en saponinas.

Historicamente se ha culpado a las saponinas por la alta incidencia de timpanismo en rumiantes que suelen consumir alfalfa fresca. Esto, como hemos comentado, ocurre en los animales que se alimentan de legumbres en zonas templadas porque contienen saponinas, pero no en las zonas tropicales.

Los seres humanos normalmente no sufren intoxicación aguda debido a las saponinas. Como son inactivadas por el colesterol solamente afectan a la membrana mucosa. Por ello se han utilizado para fabricar polvos para

²⁷⁹ Que provoca un efecto perjudicial sobre el crecimiento.

estornudar, eméticos y jarabes para la tos con el fin de facilitar la expectoración. La mayoría de las saponinas son también diuréticas.

3.3.1.2. Intoxicación en animales y en el hombre. Tratamiento

Numerosos investigadores han demostrado la toxicidad de la *J. curcas* L. para los animales (Adam, 1974; Stripe *et al.*, 1976, Cai-Yan Li *et al.*, 2009) en el ratón y la rata; Adam y Magzoub (1975) en la cabra nubia; El-Badwi *et al.* (1995) en pollos. Se han realizado experimentos en distintos animales para determinar la toxicidad de las diferentes fracciones, así como la influencia del calor y de la alcalinidad en la pasta resultante de la extracción de aceite. Por ejemplo, en peces, los resultados mostraron que esta pasta proveniente de semillas y/o harina de semillas tratadas con el calor era menos tóxica que aquella no tratada previamente con el calor, mientras que la toxicidad del extracto oleoso alcohólico no se alteró después del tratamiento con álcali caliente (Kumar *et al.*, 2008).

La concentración de ésteres de forbol en el grano de la jatrofa varía de 2-3 mg/g y de 2-4 mg/g- en el aceite en las diferentes variedades (Makkar y Becker, 1999). Estos investigadores llegaron a esta conclusión mediante ensayos realizados en ratas y peces (carpas) a los que se les alimentaba con torta de semillas de jatrofa de origen mejicano, de una variedad considerada no tóxica, y de otra variedad tóxica de Cabo Verde cultivada en Nicaragua. Se realizó una comparación de los principios presentes en ambas, llegando a la conclusión de que fundamentalmente diferían en el alto contenido en ésteres de forbol presente en las semillas de la variedad tóxica, que causó en los animales: mucosidad, rechazo al alimento después del primer día y una fuerte pérdida de peso. El contenido en saponinas, inhibidores de proteasas y fitatos era prácticamente igual en ambas variedades.

Científicos de las Universidades de Barranquilla y Sucre (Colombia) han trabajado conjuntamente para determinar la toxicidad oral aguda de los componentes tóxicos de esta planta y han estudiado los efectos tóxicos

sistémicos en ratas. Se han identificado las diferentes sustancias tóxicas que posee y que se señalan en la Tabla 34.

Tabla 34.- Sustancias tóxicas presentes en la *Jatropha curcas* L.

Prueba efectuada		Resultado
Alcaloides	Dragendorff	+++
	Mayer	+++
	Wagner	++
	Hager	+
	Ac. Fosfotungstico	+++
Flavonoides (Shinoda)		-
Compuestos fenolicos (FeCl ₃)		-
Lactona		++
Triterpenos, esteroides (Liebermann)		++
Antocianinas		+
Quinonas		-
Leucoantocianinas		-
Saponinas(espuma)		+

Muy abundante (+++); Abundante (++); Escaso (+) y Negativo (-)

Fuente: Márquez Vizcaíno (2005)

La semilla de la *J. curcas* L. además de contener un alto porcentaje de aceite (30-40%), contiene una proteína altamente nutritiva y biodisponible. Dado el éxito de este cultivo en los últimos años, podría utilizarse, como se ha indicado ya, para la alimentación animal (Aregheore *et al.*, 2003), si no fuera por los factores antinutricionales que están presentes como saponina, inhibidores de la tripsina e inhibidores de la amilasa, entre otros (Rakshit *et al.*, 2006). Hemos señalado que los elementos más tóxicos presentes en la semilla son la curcina y los esteroides de forbol. La primera está implicada en la inhibición *in vitro* de la síntesis de proteínas, aunque sea 1.000 veces menos tóxica que la ricina y la abrina (Adolf, 1984).

En cuanto a su efecto en humanos, Levis *et al.*, (2000) señalaron que la ingestión accidental de semillas de jatrofa por niños entre 3 y 5 años les produjo agitación, vómitos severos y deshidratación. Un estudio más reciente (Menezes, 2006) señala los efectos de la ingestión accidental de estas semillas en la India y alerta de que dado el empuje que está recibiendo este cultivo, es muy importante la educación de niños y jóvenes, curiosamente ellos son las únicas víctimas conocidas de esta intoxicación.

La mayoría de los experimentos e intoxicaciones en vertebrados y en humanos han tenido en común signos clínicos como quemazón y dolor en la boca y garganta, vómitos, delirios, atrofia muscular, diarrea, menor ingesta de agua, pérdida del apetito, disminución de la capacidad visual y ojos hundidos.

Las bebidas alcohólicas suelen ser el antídoto de los efectos tóxicos de esta especie (Anon, 2001).

Makkar y Becker (1998) estudiaron las características tóxicas y el potencial nutritivo de 7 variedades de *J. curcas* L. del Estado de Quintana Roo (México). Encontraron que los contenidos de proteína cruda, lípidos y cenizas en los granos variaba entre 27-30%, 55-62% y de 3,7-5,2% respectivamente, y estos valores eran superiores o similares a los de las variedades no tóxicas del estado de Veracruz (México). El proceso de tostado inactivaba casi al 100% la actividad inhibidora de la tripsina. Aunque la actividad de la lectina se reducía ligeramente con el tostado, se mantenía presente en un nivel importante por lo que no se pueden consumir en grandes cantidades. Los esteroides de forbol, presentes en 3 de las muestras no se veían afectados por ese proceso. Este estudio era importante para la seguridad alimentaria²⁸⁰ en los países tropicales ya que la *J. curcas* L. puede ser una fuente de proteínas importante para animales y humanos.

No existen muchas referencias bibliográficas sobre el efecto en la alimentación de animales con semillas detoxificadas para eliminar el efecto tóxico de los ésteres de forbol y buscar una salida en países en desarrollo a esa fuente de proteínas. Un estudio reciente *in vivo* en ratas (Rakshit *et al.*, 2008) ha

²⁸⁰ Seguridad alimentaria: La FAO (...) op.cit.

demostrado el efecto de la combinación de tratamientos, térmico y químico con hidróxido cálcico y sódico, en la torta resultante del prensado de la semilla. Aunque la mortalidad de las ratas alimentadas en un 10% con torta no tratada era mayor, también se demostró que el tratamiento con hidróxido cálcico era más efectivo para la detoxificación que con hidróxido sódico.

Es interesante conocer el efecto que esta planta tiene frente a los hospedadores y las larvas de los esquistosomas, como se desprende de un experimento realizado en la Universidad de Heidelberg (Alemania) (Rug y Ruppel, 2000)²⁸¹. La esquistosomiasis es la segunda enfermedad en el mundo en términos de morbilidad, se adquiere durante los baños efectuados en lagos y charcas. Hasta la fecha se pensaba que la niclosamida²⁸² era el único fármaco contra las enfermedades producidas por los moluscos gasterópodos, pero de este estudio se desprende que se pueden utilizar plantas con actividad tóxica como es la *J. curcas* L. para su tratamiento.

Se comparó la actividad, tanto en los gasterópodos como en larvas cercarias y miriacidas, de:

1. Extracto del aceite en metanol 5-25 mg/kg.
2. Aceite crudo 50-100 mg/kg
3. Extracto acuoso de las semillas 5.000 mg/kg
4. Niclosamida 1 mg/kg

Se observó que para ambos, los gasterópodos (*Biomphalaria glabrata*) y las larvas, el extracto del aceite en metanol mostró la actividad tóxica más alta. Parece ser que los responsables, los ésteres de forbol, inducen a la pérdida de estabilidad osmótica de la superficie de las larvas, a la formación de vesículas y a la muerte posterior.

En un interesante y reciente estudio realizado en la Universidad de Zhejiang (China) (Gandhi *et al.*, 1995), se ha tratado de determinar la toxicidad aguda de los ésteres de forbol, mediante administración intragástrica a ratones macho, ratas y conejos determinando el valor de la DL₅₀. La administración

²⁸¹ Este efecto fue previamente descrito por Liu *et al.* (1997).

²⁸² Medicamento antihelmíntico, es decir que combate las infecciones por lombrices.

oral del extracto de aceite en hexano dio un valor de DL_{50} de 6 ml/kg de peso corporal en ratas. Niveles de 6, 9 y 13,5 ml/kg de peso corporal daban lugar a diarrea y hemorragias oculares y en la necropsia se observó inflamación del tracto gastro-intestinal (Gandhi et al, 1995). El aceite en una dosis de 2g/kg de peso corporal causaba una toxicidad aguda significativa, inhibiendo el crecimiento de las crías en ratas. La fracción tóxica concentrada tras sucesivas extracciones del aceite con metanol al 90% y etil-eter mostraba también toxicidad en conejos (100 μ l), ratones y ratas (50 μ l). Los síntomas comunes eran eritema, edema, necrosis y diarrea, entre otros (Gandhi *et al.*, 1995).

En este caso, el material procedía de la India. Se aislaron los ésteres y se diluyeron en aceite de maíz de gran pureza. Para determinar el posible rango de toxicidad se realizó un pre-ensayo con las siguientes cantidades 6, 12 y 18 mg/kg de peso corporal. De acuerdo con los resultados se probaron 6 dosis diferentes por vía intragástrica de 0,2 ml/10 g de peso corporal de ésteres en grupos de 10 ratones (18-20 g.). La determinación se realizó por el método Bliss. La DL_{50} y su límite de confianza del 95% para estos ratones se fijó en 27,34 mg/kg de peso corporal y de 24,90–29,89 mg/kg de peso corporal respectivamente.

3.3.2. Aplicaciones actuales

Se están llevando a cabo muchos esfuerzos para utilizar los residuos o los subproductos agrícolas como fuente de alimentación animal. En este sentido la jatrofa está cobrando gran interés por el potencial que tienen varias partes o productos de la planta (Goel *et al.*, 2007).

3.3.2.1. Lectinas

La gran importancia de las lectinas se debe fundamentalmente a sus propiedades biológicas, tales como *aglutinación de eritrocitos y otras células* como linfocitos, espermatozoides, plaquetas y bacterias, inducción de mitosis en linfocitos, efectos citotóxicos sobre linfocitos y aglutinación de virus, entre otras (Hernández *et al.*, 1999).

Debido a sus propiedades particulares, las lectinas se usan como un instrumento en bioquímica para análisis y preparaciones, en biología celular, y en inmunología y otras áreas relacionadas. En agricultura y medicina, el uso de las lectinas se ha perfeccionado de manera importante (Tabla 35) (Moreira *et al.*, 1991)

Tabla 35.- Principales aplicaciones de las lectinas

1. - Estudios de aislamiento, purificación y estructura de glicoconjugados.
2. - Estudios de componentes de la membrana celular y subcelular.
3. - Estudios de componentes de la superficie de los virus.
4. - Estudios sobre cambios en la superficie celular por malignidad.
5. Estimulación mitogénica²⁸³ de linfocitos y estudios de división celular, constitución de cromosomas y anormalidades cromosómicas.
6. - Separación celular.
7. - Diagnóstico e identificación de microorganismos.
8. - Clasificación de grupos sanguíneos.
9. - Transportador de fármacos.
10. - Defensa de la planta contra predadores.

La posibilidad de unirse a diferentes tipos de glicoconjugados que se encuentran en las superficies celulares y a fluidos corporales es de gran utilidad en especial por su capacidad mitogénica que permiten que se usen en estudios de proliferación de linfocitos en cultivos, como son:

- La evaluación de la producción de citoquinas (interferón e interleuquinas) y la expresión de sus receptores en sobrenadantes de cultivos de linfocitos procedentes de pacientes con enfermedades con el síndrome de inmunodeficiencia adquirida (SIDA), la tuberculosis y la leishmaniasis (Hernández, 1999).

²⁸³ Que induce la mitosis y por tanto la división celular.

- La caracterización de algunos aspectos relacionados con la respuesta inmune y fenómenos asociados con ella como la inmunosupresión (Segerson, 1995).
- La interacción entre virus, como por ejemplo entre el virus de inmunodeficiencia humana (VIH) y el virus de la hepatitis B, así como la susceptibilidad y resistencia a éstos. Efectos citopáticos en virus del herpes simple (HSV-2), varicela-zoster (VZV) y citomegalovirus (CMV) como ocurre con la lectina del árbol de jack (*Arpocarpus heterophyllus*) (Nuanchawee, 2000).
- Evaluación de la efectividad de terapias anti-retrovirales de acuerdo con la respuesta de los linfocitos a la estimulación con las lectinas antes y después de la terapia, como por ejemplo en terapias contra el VIH (Casseb *et al.*, 1995).
- Análisis de funciones linfoproliferativas y citotóxicas en células mononucleares causadas por algunos fármacos (Lebrec *et al.*, 1995).
- Estudios sobre la influencia de la alimentación en la proliferación de linfocitos y cinética de la misma (Itichi *et al.*, 1996).
- La inducción de genes en linfocitos (Schwarz *et al.*, 1995).
- La detección de anomalías cromosómicas (Hernández, 1999).

Se han estudiado en detalle 9 lectinas con efecto mitogénico sobre los linfocitos, entre las que se destacan las provenientes de *Phaseolus vulgaris* (PHA), *Canavalia ensiformis* (Con A), *Pisum sativum* (PSA) y *Fitolaca americana* (PWM) (Hernández, 1999).

Las lectinas forman parte de conjugados como lectina-lectina, lectina-enzimas y lectina-anticuerpos, lo que ha permitido el desarrollo de técnicas cromatográficas como la cromatografía de afinidad para la purificación de glicoproteínas. Las interacciones de estas proteínas con células pueden ser inhibidas en muchos casos por azúcares, por lo que se ha llegado a la conclusión de que ellas se enlazan a polisacáridos de la superficie celular.

Esto ha provisto a los científicos de útiles marcadores para emplearlos en técnicas histoquímicas y de microscopia electrónica para estudiar la estructura y función de la membrana plasmática. Generalmente se utilizan lectinas conjugadas con marcadores fluorescentes como la biotina (Hartmut, 1988).

Otra área importante en la cual se emplean las lectinas es la detección de transformaciones de células malignas, a través de la aglutinación preferencial que muestran las lectinas con células transformadas.

3.3.2.2. Esteres de Forbol

Los esterres de forbol son un arma de doble filo ya que aparte de tener muchos efectos negativos sobre los seres humanos y los animales, también poseen efectos beneficiosos. Diterpenos como los ésteres de forbol se han utilizado en estudios de iniciación de tumores e incluso a bajas concentraciones se usan por sus propiedades antitumorales. Algunos de estos esterres de forma natural son inhibidores tumorales, inhiben la replicación del virus de la inmunodeficiencia humana (VIH) y poseen actividad antileucémica. La jatrofona, un diterpenoide macrocíclico aislado de la *Jatropha gossypifolia* mostró una actividad inhibidora importante contra células malignas *in vitro* e *in vivo* (Goel *et al.*, 2007). La jatrofona también posee actividad antileucémica frente a la leucemia linfocítica P-388. Se sabe que el TFA produce cambios estructurales en el parásito *Leishmania amazonensis* en una concentración de 20 ng/ml mientras que otros dos forboles procedentes de *Euphorbiaceae* en concreto, la jatrogrosidonia y jatrofona poseen actividad tóxica frente a otras formas microbianas (Goel *et al.*, 2007).

3.3.3. Futuras aplicaciones

A lo largo de los tiempos se han publicado múltiples informes (Farooq *et al.* 2008; Hussain, 2008; Mathias, 2001) etno-veterinarios²⁸⁴ sobre el uso de

²⁸⁴ Conjunto de conocimientos, prácticas, creencias y métodos relativos a la salud animal. Esta expresión fue utilizada por primera vez por McCorkle (Barboza *et al.*, 2007).

plantas en protocolos terapéuticos. Estos conocimientos tradicionales²⁸⁵ y creencias han sido habitualmente usados por agricultores, granjeros y veterinarios muy especialmente en países en desarrollo (Monteiro *et al.*, 2011). La fitoterapia se ha expandido por las dificultades existentes en determinadas partes del mundo para adquirir medicamentos veterinarios obtenidos por síntesis y por la demanda creciente de alimentos orgánicos (Cárceres *et al.*, 2004).

Los conocimientos etno-veterinarios se han adquirido a lo largo de unos 300 años de historia gracias a la prueba de “ensayo y error”, pero en la actualidad, debido a la rápida velocidad con la que se producen los cambios culturales, muchos de estos conocimientos tradicionales se están perdiendo, lo que resalta la importancia de documentarlos (Mathias, 2007).

El uso de la especie *J. curcas* L. por sus conocidas propiedades terapéuticas (ver capítulo 3.1.1) se ha utilizado tradicionalmente en Mesoamérica y en toda su área de distribución en el cinturón tropical y subtropical. En un reciente estudio (Monteiro *et al.*, 2011), llevado a cabo en la isla de Marajó en el Estado de Pará (Brasil), se ha entrevistado a 50 personas, 19 hombres y 31 mujeres, de edades comprendidas entre 20 y 50 años ($52,2 \pm 15,5$), con el objetivo de evaluar sus conocimientos sobre enfermedades conocidas, procedimientos diagnósticos y tratamientos tradicionales aplicados a los animales. Los entrevistados aseguraban que habitualmente trataban a los animales con plantas medicinales gracias a los conocimientos que les habían transmitidos de forma oral sus padres (68%), abuelos (22%) y otros parientes (10%). Asimismo, la mayoría (62%) reconoció tener más confianza en estas prácticas que en los fármacos de origen sintético. Evidentemente el conocimiento era mayor entre el segmento de edad comprendido entre 40 y 60 años que conocían más tipos de plantas, que entre 20-40 años. Entre todos los entrevistados se recogieron un total de 342 informes de prácticas etno-veterinarias que en muchos casos coincidían con tratamientos aplicados a

²⁸⁵ El tema de los conocimientos tradicionales de las comunidades y pueblos indígenas es de gran importancia en el marco del Convenio de Diversidad Biológica (CDB) de las NN.UU. debido a la necesidad de documentarlos y protegerlos en cumplimiento del Artículo 8.j del mencionado convenio. Puesto que no son objeto de propiedad intelectual *senso stricto* por tratarse de conocimientos colectivos, se está trabajando en un mecanismo *ad-hoc* de protección. (Ver Traditional Knowledge Bulletin en <http://unu.edu/tk/>).

seres humanos, siendo los más habituales para diarreas, lesiones de la piel, heridas, lombrices y otras afecciones de menor importancia (Monteiro *et al.*, 2011).

Si bien la *J. curcas* L. no es originaria de esta zona, fue identificada por numerosas personas como antihelmíntico (semilla triturada con leche o con los alimentos), para el tratamiento de infestaciones por garrapatas (humo del tostado de las semillas) y para la curación de heridas (exudado de las hojas) (Monteiro *et al.*, 2011).

El estudio no proporciona información sobre la dosis o duración de los tratamientos, no obstante revela la importancia de los principios activos que contienen estas plantas.

Igualmente se ha estudiado recientemente su uso potencial como fito-estabilizador de metales pesados en suelos contaminados por residuos de la minería o la importancia que los compuestos bioactivos polifenólicos de los extractos acuosos de la corteza del árbol, tienen como antioxidante por la presencia de radicales libres (Wu *et al.*, 2011). Parece que son muy significativas las propiedades antioxidantes de la planta, por lo que podría haber diferentes mecanismos de acción en cuanto a su eficacia sobre enfermedades en las que están implicados los radicales libres (Igbinosa *et al.*, 2011).

También recientemente se ha aislado de esta planta un péptido catiónico antimicrobiano *JCpep7* mediante cromatografía de afinidad de membrana. Se ha visto que es activo frente a *Salmonella typhimurium*, *Shigella dysenteriae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis* y *Streptococcus pneumoniae*, con valor en la concentración mínima de la sustancia entre 24-64 mg/ml. Usando técnicas de espectrofotometría, se ha visto que el péptido *JCpep7* destruye el microorganismo rompiendo la pared celular y provocando una posterior lisis (Xiao *et al.*, 2011).

Es evidente que en el futuro, el ritmo actual de investigación sobre la jatrofa debido a su interés para la fabricación de biodiesel, y a los numerosos

estudios que se están realizando sobre la caracterización molecular de la planta para su mejora genética e identificación de nuevas moléculas de interés, probablemente darán lugar a un mayor conocimiento de todas las sustancias activas que en ella se encuentran. Estas sustancias facilitarán nuevas aplicaciones terapéuticas como agente antimicrobiano, antipirético, antifúngico, antiparasitario y anticancerígeno.

3.3.3.1. Lectinas

Brotchi *et al.*, (1997) han investigado sobre el uso de las lectinas y polímeros sintéticos enlazados a ellas como agentes anti-cancerígenos *in vivo* e *in vitro*, al haberse comprobado que disminuyen el crecimiento de las células tumorales. Se han ensayado también para la inmunización contra el virus responsable de la inmunodeficiencia.

Estas propiedades citotóxicas de algunas lectinas, como la ricina y abrina, hacen también que tengan interés como potenciales armas terapéuticas en el tratamiento del cáncer humano (Hernández, 1999).

Por su capacidad de aglutinación de eritrocitos, las lectinas se emplean también en la caracterización de grupos sanguíneos humanos y en la identificación de nuevos grupos sanguíneos. Su utilización en la determinación del tipo de sangre de los individuos viene dada por su especificidad en las reacciones con los grupos sanguíneos ABO, MN, A1 y A2 de humanos. La mayoría de las lectinas, las no específicas, aglutinan los eritrocitos de todos los grupos sanguíneos en humanos y actúan en concentraciones parecidas (Hernández, 1999).

Durante mucho tiempo el interés en estas moléculas, las lectinas, ha sido el desarrollar fármacos anti-tumorales que actúen selectivamente sobre las células malignas. Esta actividad anti-tumoral está relacionada con la N-glicosidasa que parte el enlace N-glicosídico de la adenina, lo que provoca que el ribosoma no pueda unirse a los factores de elongación 1 y 2, con lo que se detiene la síntesis de proteínas. Como otras lectinas, la curcina posee estas características (Lin *et al.*, 2003).

En experimentos con diferentes líneas celulares (hepatoma humano, células Hella y células normales) se ha ensayado su eficacia para inhibir la síntesis de proteínas y se ha visto que en especial el hepatoma humano es el más sensible a la curcina. Así, se puede afirmar que la curcina es una proteína inactivante de ribosomas que puede ser interesante para preparar conjugados que actúen como agentes quimioterápicos para el tratamiento de diversos tumores (Lin *et al.*, 2003).

3.3.3.2. Ésteres de forbol

Como se ha comentado el aceite de la semilla de la jatrofa que contiene un alto porcentaje de esteres de forbol, entre otros tiene un fuerte efecto purgante y también se puede utilizar para tratar enfermedades de la piel y para aliviar dolores como los provocados por el reumatismo (Duke, 1988)²⁸⁶.

²⁸⁶ Sería interesante desarrollar más estos posibles usos de los principios activos de la planta, especialmente en todo lo relativo a las enfermedades de la piel para las que en la actualidad existen pocas opciones de curación.

3.4. CARACTERIZACIÓN TOXICOLÓGICA DE LOS PRODUCTOS DE TRANSFORMACIÓN INDUSTRIAL DE LA *Jatropha curcas* L.

3.4.1. Aprovechamiento industrial.

El aceite de *J. curcas* L. puede utilizarse como combustible directamente en los motores diesel mezclándolo con metanol. En la Segunda Guerra Mundial y ante la dificultad de disponer de combustibles convencionales, se utilizó así el aceite de esta semilla (Gubitz *et al.*, 1999). En la actualidad se ha planteado la conveniencia para los países africanos de fabricar ésteres de ácidos grasos a partir de esta planta y asegurar así su independencia energética en cuanto a la disponibilidad de combustibles para el transporte.

El biodiesel se fabrica a partir de aceite vegetal, virgen o usado, (comestible o no comestible) y de grasas animales transformados a través de un proceso de trans-esterificación que consiste en tres reacciones reversibles y consecutivas en las que un triglicérido es transformado consecutivamente en diglicérido, monoglicérido y glicerina.

El biodiesel es el único combustible alternativo que puede ser utilizado directamente en los motores sin modificar. Algunos autores han comprobado que tanto el metiléster como el etiléster de *Jatropha curcas* L. pueden usarse directamente en los motores diesel (Foid *et al.*, 1996). Además, se puede mezclar con éste en cualquier proporción puesto que tiene propiedades similares a las del diesel. Sin embargo, no se recomienda el uso del B100²⁸⁷ debido a las altas emisiones de NOx que produce (Kohli, 2009).

A bajas temperaturas, presenta mayor estabilidad la mezcla de biodiesel de jatrofa y palma, que a su vez tiene mejor oxidación que por separado (Kohli, 2009).

En la mayoría de los países desarrollados el biodiesel se obtiene a partir de soja, colza, girasol, cacahuete y otras oleaginosas. Todos ellos son cultivos de aprovechamiento alimentario cuya utilización entra en competencia con la

²⁸⁷ Biodiesel puro (....) op.cit

cadena alimentaria. Para los países en desarrollo es más conveniente obtener biodiesel de cultivos como la jatrofa que además reúne otras ventajas como un rápido crecimiento, una alta producción de semillas y una buena adaptación a ecosistemas tropicales y subtropicales (Ramesh *et al.*, 2002).

Otras ventajas que presenta este biodiesel son (Ramesh *et al.*, 2002):

- Procede de fuentes renovables.
- Es un combustible oxigenado, de gran valor ecológico.
- Libre de azufre y menores emisiones de otros contaminantes (CO, HC).
- Supone un ingreso económico para las comunidades rurales.
- Tiene propiedades similares al combustible convencional.
- Se usa sin necesidad de modificar el motor.
- Reduce el gasto en importaciones de petróleo.
- Es biodegradable y seguro de manejar.
- Es esencialmente no tóxico.

La evaluación económica ha mostrado que la producción del biodiesel de *Jatropha curcas* L. es económicamente ventajosa siempre y cuando los subproductos puedan ser también comercializados (Kumar, 2008).

3.4.1.1. Descripción del proceso industrial y principales productos obtenidos de la *Jatropha curcas* L.

3.4.1.1.1. Extracción del aceite

El segundo paso de la cadena de producción del biodiesel es la extracción del aceite que contiene la semilla de las plantas oleaginosas. Los principales factores de este proceso, aparte de ser una semilla de calidad, son: el método de producción, la maquinaria, la infraestructura y la energía.

Entre las materias que se obtiene se encuentra el aceite y la torta que es un importante subproducto (Achten *et al.*, 2008).

El proceso de obtención del aceite de las semillas oleaginosas es antiguo, aunque se ha modernizado en los últimos años. En la actualidad existen dos opciones de extracción: mecánica o química (Forson *et al.*, 2004).

Antes de la extracción es preciso secar las semillas, bien en un horno (a 105°C) o al sol durante al menos 3 semanas. En las prensas se pueden utilizar tanto las semillas enteras como el grano o una mezcla de ambos, aunque lo normal es usar la semilla entera.

En el caso de la extracción química, se utiliza solamente el grano. Las cáscaras se pueden usar directamente como un combustible o como materia prima para la obtención de biogas (Achten *et al.*, 2008).

La prensa mecánica puede ser manual o a motor como la prensa de Sundhara²⁸⁸ (Forson *et al.*, 2004). El porcentaje de aceite extraído varía entre el 60-65% con la manual y el 75-80% con la propulsada por un motor (Henning, 2006), porcentajes que se han confirmado con estudios más recientes (Beerens, 2007). La razón es que en el segundo tipo de prensa, las semillas están sometidas a mayor número de extracciones, normalmente tres. Además de ello, el pretratamiento de las semillas con calor puede aumentar el porcentaje de obtención de aceite hasta el 89% en un único triturado y hasta el 91% en el segundo (Beerens, 2007).

La extracción química más común se realiza con el método de extracción del solvente n-hexano y tiene como resultado la mayor producción de aceite que se puede obtener, aunque también es más lento. En la extracción enzimática acuosa, el uso de proteasas alcalinas supuso una importante mejora teórica. Además, el pre-tratamiento con ultrasonidos facilita también la extracción acuosa (Shah, 2005).

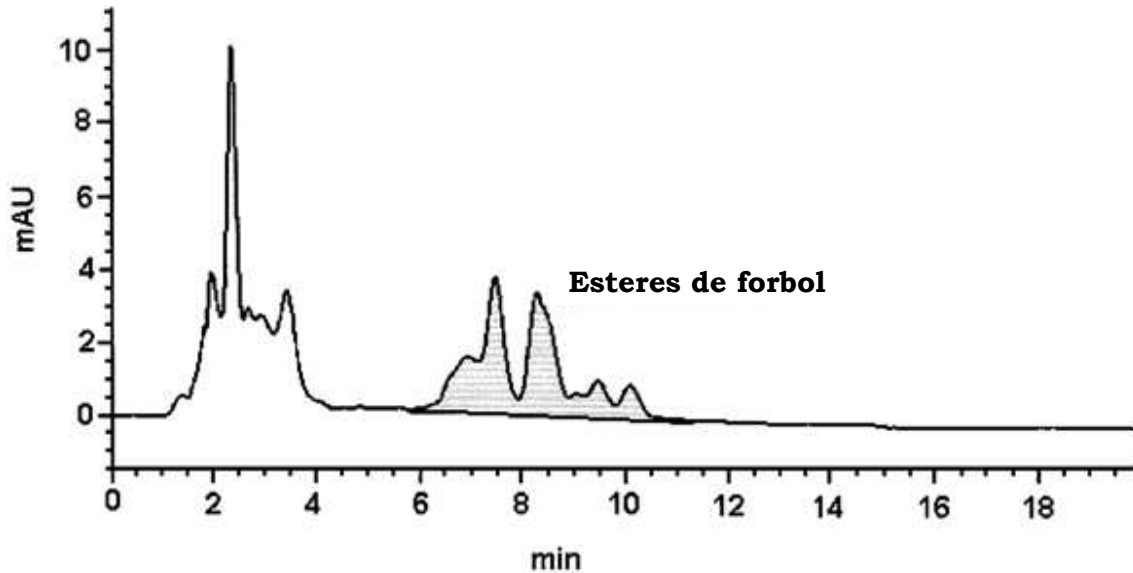
Para algunos autores (Adriaans, 2006) la extracción con disolvente es interesante económicamente únicamente si la producción se realiza a gran escala, es decir, si se obtienen más de 50 tn de biodiesel/día. Además de ello,

²⁸⁸ Prensa especialmente diseñada para triturar las semillas de Jatrofa.

la extracción tradicional con n-hexano supone un impacto ambiental y para la salud humana por el efecto tóxico de dicho compuesto. Entre los factores de mayor impacto ambiental podemos citar los efluentes líquidos, el alto consumo energético y las altas emisiones de compuestos orgánicos volátiles. Entre los riesgos potenciales para la salud humana se encuentran los derivados de la manipulación de sustancias químicas peligrosas e inflamables. Por el contrario, la extracción enzimática acuosa reduce de manera importante estos riesgos.

La mayor parte de las aplicaciones en el campo de la nutrición y de la tecnología están restringidas en gran parte por la toxicidad de la planta. El aceite de la semilla contiene ésteres de forbol que pueden dar lugar, como se ha señalado, a efectos biológicos adversos tales como tumores o inflamaciones, por lo que es importante aplicar procedimientos adecuados de detoxificación. Con objeto de optimizar el grado de detoxificación se han realizado experimentos en los que se modificaban los parámetros de varias etapas del proceso de refinado para comprobar sus efectos neutralizantes. No se observaron prácticamente efectos cuando se aplicó un proceso de desengomado y desodorización, mientras que en las etapas de acidificación y blanqueado se consiguió reducir el contenido de ésteres de forbol hasta en el 55% (Haas y Mittelbach, 2000).

Figura 9.- Cromatograma HPLC del extracto con metanol de aceite de semilla de *Jatropha curcas* L.

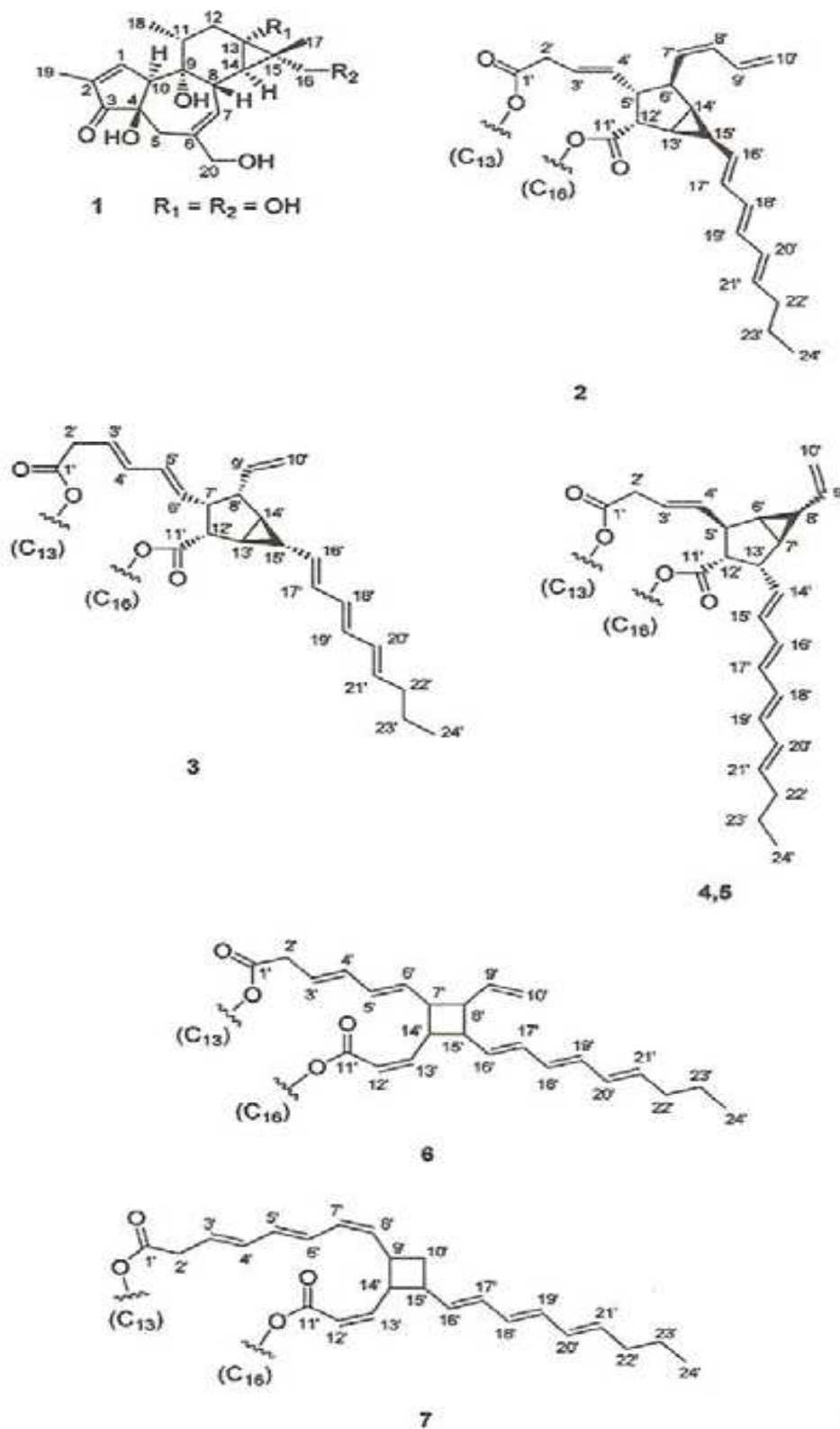


Fuente: Haas y Mittelbach (2000).

El análisis por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) del extracto en metanol de aceite de jatrofa (Figura 9) muestra un tiempo de retención de los ésteres de forbol de entre 6 y 11 minutos, lo que se utiliza para su cuantificación.

En otros trabajos en los que se comparaba el contenido de ésteres de forbol en muestras (Figura 10) procedentes de Malasia, Indonesia y la India, la extracción de los ésteres de forbol del aceite de la semilla se realizó con metanol. La proporción utilizada era 10 g de aceite con 10 g de metanol. Este combinado se centrifuga 4 veces 10 minutos a 3500 rpm (28 °C). Los resultados mostraron que la extracción con metanol conseguía reducir de 0,23%, 1,58% y 0,58% a 0,06%, 0,16% y 0,05% para las muestras de Malasia, Indonesia y la India respectivamente (Ahmed *et al.*, 2009).

Figura 10.- Ésteres de forbol en el aceite de *Jatropha curcas*



L.

Fuente: Haas *et al.*, (2002)

La extracción con metanol hasta la fecha ha resultado ser el mejor método para rebajar su contenido en el aceite de la *J. curcas* L. (Ahmed *et al.*, 2009).

3.4.1.1.2. Utilización de la torta de la *Jatropha curcas* L.

La torta resultante del prensado de la jatrofa tras la obtención del aceite es tóxica y por lo tanto no apta para consumo directo animal o humano, a pesar de su alto valor nutritivo, si no se detoxifica.

La producción de biodiesel a partir de esta planta genera grandes cantidades de torta residual, del orden de 500 g/ kg de semilla (Zanzi *et al.*, 2008) cuya utilización potencial o eliminación debe ser gestionada adecuadamente para evitar problemas ambientales en todos aquellos países que están apostando por la *J. curcas* L. como materia prima para la producción de biodiesel. Como contiene valiosos nutrientes puede ser utilizada como fertilizante orgánico, especialmente en el mismo cultivo (Heller, 1996), pero esto no es suficiente para gestionar la gran cantidad de torta que se obtiene.

Además de las proteínas de calidad, la torta contiene varias toxinas por lo que no ha sido posible utilizarla como alimento del ganado. Sin embargo, el grano y la torta pueden ser muy valiosos como fuente de nutrientes orgánicos. La presencia de toxinas biodegradables, principalmente los esteroides de forbol, hace que la torta sirva simultáneamente como bioplaguicida, insecticida y molusquicida (Francis, 2005). Aunque los ésteres se descomponen completamente en seis días, es recomendable comprobar la ausencia de los mismos en los cultivos que han sido fertilizados con esta torta, especialmente si están destinados al consumo humano. Heller (1996) alerta sobre la fototoxicidad de un uso excesivo de esta torta.

Otros autores (Staubman *et al.*, 1997) han obtenido 0,446 m³ de biogas, conteniendo el 70% de CH₄ por kg de torta utilizando estiércol de cerdo como inóculo. El biogas también puede ser obtenido a partir de otros restos de jatrofa como la cáscara del fruto (Achten *et al.*, 2008).

Es muy importante el hecho de que la torta de *J. curcas* L. pueda utilizarse con diferentes fines, especialmente que estos restos vuelvan al terreno es una buena práctica ambiental, aunque, como hemos señalado su efecto a largo plazo no ha sido estudiado, en particular de los ésteres de forbol.

Uso de la torta en alimentación animal

La Directiva 2002/32/CE²⁸⁹ califica expresamente la *Jatropha curcas* L. como sustancia indeseable para la alimentación animal²⁹⁰. Durante años se han realizado estudios de detoxificación de la torta a través de su exposición a altas temperaturas y a productos químicos (NaOH y NaOCl), que no han conseguido eliminar el 100% de los componentes tóxicos. La extracción de aceite con 80-90% de etanol o metanol también había dado resultados alentadores para la detoxificación.

Entre 2004-2007 se llevó a cabo en la Universidad de Hohenheim (Alemania) un proyecto de detoxificación de la torta de jatrofa para ser utilizada como pienso. El proyecto tenía por objeto definir un procedimiento factible y económico de detoxificación. Se esperaba lograr así el desarrollo de medios tecnológicos para eliminar los ésteres de forbol, evaluar la biodegradabilidad *in vitro* de estas moléculas por los microorganismos del rumen²⁹¹ e investigar sobre el mecanismo molecular de actividad e interacción de los ésteres de forbol con las enzimas detoxificantes intestinales. Al final del proyecto se consiguió determinar diferentes métodos de detoxificación para reducir en parte el contenido de ésteres de la torta; se llegó a la conclusión de que los microorganismos del rumen son incapaces de degradar estos compuestos por lo que no fue posible establecer un mecanismo molecular de acción en los mismos (Becker, 2009).

²⁸⁹ Directiva 2002/32/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 7 de mayo de 2002 sobre Sustancias Indeseables en la Alimentación Animal. DO. L 140 de 30.5.2002, pp.10-21.

²⁹⁰ La Directiva establece que: “*Las semillas y frutos de las Especies correspondientes, así como sus derivados pueden estar presentes en los piensos sólo en cantidades mínimas, no determinables cuantitativamente.*”

²⁹¹ Primera de las cuatro cavidades de que consta el estómago de los rumiantes

Unos años antes (Areghore *et al.*, 2003), se logró alcanzar, tras el lavado con metanol de la torta tratada con calor (autoclave a 121°C), el 97% de detoxificación, reduciendo los niveles de ésteres de forbol de 1,78 mg/g de semilla a niveles más tolerables de 0,09 mg/g.

Otros autores (Ahmed *et al.*, 2009) han comparado recientemente tres variedades de *J. curcas* L. procedentes de Indonesia, Malasia y la India. Afirman que la variación en contenido de ésteres de forbol está muy relacionada con la procedencia de la planta y las condiciones en las que se ha desarrollado (Makkar *et al.*, 1998; Haas *et al.*, 2002). En cuanto a las opciones de detoxificación, el estudio concluyó que la neutralización mediante un tratamiento cáustico con hidróxido sódico y el posterior blanqueado redujo significativamente el contenido de estos compuestos.

El contenido medio de proteína cruda de la torta de jatrofa es de 58,1% de peso y tiene un contenido energético medio de 18,2 megajulios (Tabla 36). En el caso de la extracción mecánica con semillas enteras, el contenido de aceite de la torta es mayor, debido a la eficiencia más baja del extractor. Así, según las diferencias existentes en la eficiencia en la extracción y el contenido medio de aceite de la semilla entera (34,4%), la torta contendrá de 9 a 12% de peso de aceite. Este contenido influye evidentemente en el valor energético (Achten *et al.*, 2008).

Tabla 36.- Composición química del pienso de jatrofa (% de materia seca) de Nicaragua comparado con el de soja

	Grano (60%)	Cáscara (40%)	Pienso	Pienso (soja)
Proteína cruda	25,6	4,5	61,2	45,7
Lípidos	56,8	1,4	1,2	1,8
Cenizas	3,6	6,1	10,4	6,4
Energía bruta (Mj/kg)	30,5	19,5	18,3	19,4
Fibra detergente neutra	3,5	85,8	8,1	17,2
Fibra detergente ácida	3,0	75,6	6,8	12,2
Lignina detergente ácida	0,1	47,5	0,3	0,0

Fuente: Makkar *et al.* (1998).

Recientemente se ha hallado un uso de mayor valor de la torta, sin la necesidad de detoxificarla. Utiliza la fermentación en estado sólido con *Pseudomonas aeruginosa*, para producir enzimas tales como proteasas y lipasas, ya que su composición química es muy apropiada para un buen crecimiento bacteriano (Kohli, 2009).

Estos estudios han conducido recientemente a un hallazgo muy importante. Utilizando la fermentación en estado sólido de la torta, en condiciones optimizadas (1,5 ml de inóculo/5 g de torta a temperatura 30°C y 65% de humedad) con *Pseudomonas aeruginosa* (estirpe PseA), ha sido posible degradar por completo los ésteres de forbol en 9 días (Joshi *et al.*, 2011).

Este hecho es de gran importancia ya que posibilita la utilización de la torta detoxificada como alimento para los animales lo que, aparte de resolver un problema ambiental en los países que han optado por el cultivo de la *J. curcas* L. como materia prima para obtener el biodiesel, implica un enorme valor socio-económico añadido para estas Comunidades. La torta presenta un contenido en aminoácidos esenciales, excepto lisina, mayor que el que determina la FAO en los patrones recomendados para la edad preescolar (Makkar *et al.*, 1998)

En otro reciente experimento llevado a cabo en la Universidad de Bangkok (Tailandia), se ha aislado la proteína²⁹² de la torta detoxificada²⁹³ de *J. curcas* L. y se han estudiado su composición química, propiedades funcionales y factores anti-nutricionales (Saetae y Suntornsuk, 2011). El contenido proteico de la torta con y sin detoxificación es similar (23%) por lo que parece que la extracción con etanol no le afecta. Por el contrario, el contenido proteico de la proteína aislada es de 89%. Estos autores han analizado las propiedades funcionales que se requieren en los ingredientes proteicos: solubilidad, capacidad de unión al agua y al aceite, actividad emulsionante y estabilidad, y

²⁹² El aislamiento de la proteína se lleva a cabo en dos etapas: solubilización de la misma en solución alcalina a pH 12 y posterior precipitación en medio ácido a pH 4.

²⁹³ La torta en este caso se detoxificó mediante extracción con 15 ml de etanol al 90% por cada 5 g. de torta, centrifugando a 150 rpm durante 5 min. a temperatura ambiente. El proceso se repitió 4 veces.

capacidad espumante de esta proteína para verificar su idoneidad para ser usada en alimentación.

En la Tabla 37, se muestra la comparación en la composición química de la torta normal, detoxificada y de la proteína aislada de esta última.

Tabla 37.- Comparación de diferentes tipos de torta de *Jatropha curcas* L.

Composición (%)	Torta normal	Torta detoxificada	Proteína aislada de torta toxificada
Grasa cruda	14,8±0,5	8,6±1,6	7,1±0,4
Fibra cruda	11,0±1,7	8,2±0,3	0,7±0,1
Ceniza cruda	7,8±0,1	6,4±0,2	1,8±0,1
Proteína cruda	23,5±1,5	23,0±1,0	89,0±1,8
Carbohidratos	42,9	53,8	1,4

Fuente: Saetae *et al.*, (2011)

En la proteína aislada no se detectan ésteres de forbol, ni lectinas. El ácido fítico detectado en la proteína es de 0,03%, que es mucho menor que en la torta detoxificada (98%).²⁹⁴

En la Tabla 38, se muestra la comparación en cuanto a compuestos tóxicos y factores anti-nutricionales de la torta normal, detoxificada y de la proteína aislada de esta última.

²⁹⁴ Esto implica que la reducción probablemente se debe a que en el proceso de aislamiento se unen los iones fitato a los iones sodio de la solución alcalina.

Tabla 38.- Elementos tóxicos presentes en diferentes tipos de torta de *Jatropha curcas* L.

Componentes	Torta normal	Torta detoxificada	Proteína aislada de torta detoxificada
Ésteres de forbol (mg/g muestra seca)	0,73±0,06	ND	ND
Ácido fitico (%)	8,55±0,51	1,87±0,11	0,03±0,00
Inhibidor tripsina	7,42±1,64	1,12±0,09	8,36±0,03
Lectina	13,15±0,45	ND	ND
Saponina	27,82±0,68	10,04±0,60	2,04±0,01

Fuente: Saetae *et al.*, (2011)

ND: no detectable

En cuanto a las propiedades funcionales de la proteína aislada de la torta detoxificada, los principales parámetros son:

1.- *Solubilidad*: Es una característica importante que se requiere para utilizar la proteína como ingrediente en alimentos, la máxima solubilidad de esta proteína se alcanza a pH 12,0.

2.- *Capacidad de enlace con moléculas de agua y aceite*: Es importante en los alimentos viscosos para proporcionar cuerpo y grosor. La proteína de la jatrofa tiene buena capacidad para unirse al agua debido a las interacciones entre esta y los residuos de los aminoácidos polares, aunque esta capacidad es mucho mayor en la proteína que se aísla de la torta sin detoxificar. Probablemente se debe a que la extracción con etanol modifica la estructura interna. En cuanto a la unión a aceite que es fundamental en una proteína para la retención del sabor, en este caso es de 1,07 ml/g proteína, mientras que en la que se aísla de la torta sin detoxificar es de 1,86 ml/g proteína. Esto indica que la primera tiene bajo contenido de aminoácidos no polares que puedan unirse a las cadenas de hidrocarburos de los lípidos.

3.- *Capacidad espumante*: En este caso la capacidad es igual en el caso de las dos proteínas, pero menor que en el caso de otras semillas. Esto sugiere que las moléculas proteicas de *J. curcas* L. deben ser globulares.

4.- *Capacidad emulsionante*: Normalmente se logra por la presencia en las proteínas de grupos hidrófilos e hidrófobos que les permite unirse a moléculas de agua y de aceite y por tanto tener poder emulsionante. En el caso de la proteína aislada de la torta detoxificada, esta capacidad es máxima a pH 12,0 porque es cuando se alcanza la máxima solubilidad.

A pesar de demostrarse con este estudio que esta proteína puede ser una buena fuente proteica para alimentación, es importante realizar comprobaciones en animales para confirmar su seguridad, antes de utilizarla en piensos.

Uso de la torta como fertilizante

Algunas investigaciones (Ghost *et al.*, 2007) demuestran que, cuando se usan solamente fertilizantes químicos, esto tiene un efecto reducido en el desarrollo de la planta, sobre todo en regiones con mucha lluvia. La razón es que los fertilizantes con nitrógeno y potasio tienden a perder sus nutrientes en muy poco tiempo, especialmente durante la época de lluvia, a causa de la alta solubilidad de estos fertilizantes en agua. Por el contrario, los fertilizantes orgánicos como la torta de jatrofa, tienen la propiedad de reducir estas pérdidas y aportar nutrientes durante un periodo más prolongado.

Antes de utilizar la torta de jatrofa como fertilizante orgánico, se recomienda llevar a cabo un proceso de digestión anaeróbica. Este proceso implica su descomposición por bacterias que producen como resultado una mezcla de CH₄ (65%) y CO₂ (35%) (biogás). El aceite que queda en la torta promueve la actividad bacteriana y es por lo tanto un excelente producto para un biodigestor²⁹⁵.

²⁹⁵ Un biodigestor es un sistema natural y ecológico que aprovecha la digestión anaeróbica (en ausencia de oxígeno) de las bacterias para transformar el estiércol en biogás y fertilizantes

El contenido de los principales nutrientes en la torta varía según los estudios aunque, como se puede observar en la Tabla 5, es muy alto en comparación con otros tipos de fertilizantes (Ghosh *et al.*, 2007). Este autor, en la India, fijó la siguiente composición de la torta que figura en la Tabla 39.

Tabla 39.- Composición de la torta de *Jatropha curcas* L.

Nitrógeno (N)	3-4,5%
Fósforo (P ₂ O ₅)	0,65-1,2%
Potasio (K ₂ O)	0,8-1,4%
Micronutrientes	0,2-0,35%:
Hierro (Fe)	800-1000 mg/kg
Manganeso (Mn)	300-500 mg/kg
Zinc (Zn)	30-50 mg/kg
Cobre (Cu)	18-25 mg/kg

Fuente: Ghosh *et al.*, (2007).

Según el estudio, la aplicación de 3 tn torta/ha aumenta la producción de semillas el 100% en comparación con una parcela no fertilizada, gracias al alto porcentaje de los elementos presentes en la misma (Tabla 40).

Tabla 40.- Comparación del contenido de Nitrógeno/Fósforo/Potasio de la torta de jatrofa con otros fertilizantes orgánicos comunes

Fertilizante	Nitrógeno (%)	Fósforo (%)	Potasio (%)
Torta de prensa de Jatrofa	4,44	2,09	1,68
Estiercol -Vaca	0,97	0,69	1,66
Estiercol- Pollo	3,04	6,27	2,08
Estiercol - Pato	2,37	2,10	1,09
Compost de paja	0,81	0,18	0,68
Compost de jacinto de agua	1,48	0,46	0,48

orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio, y además se disminuya el potencial contaminante de los excrementos.

Compost de desechos municipales	1,25	0,25	0,65
Pasta de Karanj-oil	4,00	1,00	1,0
Pasta de Neem oil	5,00	1,00	1,50

Fuente: <http://www.frienvic.nic.in/jatropha.htm>

Si bien numerosos autores recomiendan la utilización de la torta como abono orgánico, debería estudiarse, antes de su cultivo a gran escala, el metabolismo de los ésteres de forbol en el medio ambiente y su impacto sobre la ecología del suelo (Abhilash, 2011).

3.4.1.1.3. Obtención del Biodiesel

Durante los últimos 10 años, la *J. curcas* L. ha sido objeto de una atención importante como materia prima para la producción de biodiesel de manera que se han establecido plantaciones en las regiones tropicales y subtropicales por todo el mundo (Li *et al.*, 2010).

El aceite obtenido de la semilla de esta planta puede ser utilizado como base para el combustible de motores de diferentes maneras: uso directo del aceite, mezclas, pirrolisis, microemulsión y trans-esterificación. El método de microemulsión llevaría a una combustión incompleta por el bajo número de cetanos²⁹⁶ y contenido energético, de modo que el aceite de jatropa generalmente es transformado mediante transesterificación, obteniéndose biodiesel y glicerol, que puede producir calor por combustión o utilizarse como material para piensos, en la industria cosmética o en alimentación.

Los diferentes métodos existentes son:

3.4.1.1.3.1. Trans-esterificación no catalítica

Requiere una temperatura más alta que la temperatura crítica del alcohol. Este método se llama “supercrítico”. El alcohol se convierte en un fluido mediante la aplicación de alta temperatura (250°C) y presión. RATHORE y

²⁹⁶ El índice de cetano en el combustible diésel define la calidad del mismo, indicando el tiempo que tarda desde que es inyectado hasta que entra en ignición

MADRAS (Juan *et al.*, 2011) probaron este método con diferentes proporciones, obteniendo 100% de producción de los ésteres de metilo en 4 minutos a 320°C y 8,4 mili pascales de presión y proporción molar de 43 a 1 (alcohol/aceite). El único inconveniente de este método es que los ésteres de metilo se degradan fácilmente a temperaturas extremadamente altas.

Recientemente se ha extraído aceite de jatrofa usando CO₂ sujeto a hidrólisis posterior supercrítica (Chen *et al.*, 2010). Los ácidos grasos obtenidos sufrían una metilación supercrítica y se obtenía el 99% de biodiesel en 15 minutos a 290°C y 11 mili pascales de presión. La ventaja de este método es que no se precisa purificación posterior. Sin embargo el coste de obtener altas temperaturas y presión hace que no sea rentable al pasar a la escala industrial.

3.4.1.1.3.2. Trans-esterificación catalítica

Este método se divide en tres categorías que son la trans-esterificación catalizada por un ácido, catalizada por una base o por una enzima. El tipo de catálisis a utilizar depende del contenido de ácidos grasos... del aceite de la jatrofa. Cuando es alto, la mezcla con el catalizador alcalino da lugar a la producción de jabón por lo que se aplica una trans-esterificación en dos pasos, ya que es preciso utilizar un ácido previamente para rebajar el contenido en AGL²⁹⁷. Después de esto se consigue una conversión máxima del 99% (Tiwari *et al.*, 2007).

En la Tabla 41, se recogen las diferencias entre los dos tipos de catálisis dependiendo de la movilidad: homogénea y heterogénea.

²⁹⁷ Para un contenido de AGL del 14% y la acidez (28 mg KOH/g), es preciso un pre tratamiento con metanol (CH₃-OH) utilizando ácido sulfúrico (H₂SO₄) como catalizador durante 88 min a 60°C

Tabla 41.- Tipos de catálisis para la obtención de biodiesel a partir de *Jatropha curcas* L.

Factores	Catálisis homogénea	Catálisis heterogénea
- Velocidad reacción	- Rápida y alta conversión	- Conversión moderada
- Post- tratamiento	- No se recupera catalizador	- Recuperación catalizador
- Metodología	- Uso limitado metodología continua	- Operación continua
- Alto grado de AGL y agua	- Sensible	- No sensible
- Recuperación catalizador	- No posible	- Posible
- Coste	- Comparativamente costosa	- Potencialmente + barata

Fuente: Juan *et al.* (2011)

La aplicación de catálisis homogénea, ya sea ácida o básica, causa más problemas que la heterogénea. Es difícil eliminar el catalizador del biodiesel debido a su estado líquido. Esta catálisis genera residuos peligrosos y es necesario un tratamiento posterior. En la heterogénea, el catalizador es sólido, lo que permite su recuperación fácilmente filtrando el biodiesel y además es reutilizable. El tipo de catalizador depende mucho del contenido de AGL.

3.4.1.1.3.3. Trans-esterificación catalizada por una base

El método más utilizado para producir biodiesel actualmente es la transesterificación catalizada por una base. El catalizador utilizado normalmente es NaOH o KOH. La reacción se da en tres etapas: (1) El catalizador reacciona con el alcohol y se produce la mezcla catalítica de iones alcohol-óxido, (2) La mezcla rompe los ácidos grasos, y (3) se produce el éster de metilo y glicerol.

Cuando es homogénea, tiene la ventaja de que el catalizador es barato, alta actividad catalítica y de que se obtiene biodiesel de alta calidad en un corto periodo de tiempo (Helwani *et al.*, 2009). El ritmo de la reacción puede ser

4000 veces mayor que el proceso catalizado por un ácido. Sin embargo tiene el inconveniente que ya hemos citado de que, por encima del 1%, no convierte los AGL en ésteres. A pesar de esto, muchos investigadores han transesterificado el aceite de jatrofa mediante este método, con metanol y etanol, utilizando como catalizador KOH o NaOH (Chitra *et al.*, 2005; Tang *et al.*, 2007; Berchmans *et al.*, 2010); Según alguno de ellos (Chitra *et al.*, 2005), lo óptimo para convertir el aceite de jatrofa en biodiesel (3,1% de AGL y acidez de 6,2 mg KOH/g) es 20% de metanol. La máxima producción de ester se consigue después de 90 minutos a 60°C.

Aunque el proceso de la trans-esterificación es bastante directo, las características ambientales y genéticas de la planta de la que se obtenga el aceite, hacen que se puedan requerir cambios en la temperatura y tiempo de reacción, con objeto de obtener la mejor calidad posible de combustible.

También se ha estudiado el efecto del alcohol utilizado en la reacción de transesterificación. Con metanol, la producción de biodiesel es del 96% en 30 minutos pero si se utiliza etanol, baja al 93%, debido a que la constante cinética del metanol es más alta.

Otros autores (Berchmans *et al.*, 2010) estudiaron la trans-esterificación de aceite de jatrofa (5,5% de AGL) y aceite usado (0,45% de AGL) con KOH. El nivel de AGL lo ajustaban previamente al 1% antes de la transesterificación. Así, la conversión más alta (97%) se lograba en 2 horas. utilizando una proporción molar de metanol aceite 6:1 y temperatura de 50°C. El porcentaje es similar utilizando NaOH, pero en este último caso la reacción es mucho más rápida.

3.4.1.1.3.4. Trans-esterificación en dos etapas, catalizada por un ácido y una base.

Hemos visto que la trans-esterificación catalizada por un ácido se utiliza cuando el contenido de AGL es muy alto. Esta requiere una proporción molar alcohol-aceite mayor comparada con la alcalina. Se ha ignorado su utilización durante mucho tiempo debido a la duración del proceso, pero últimamente se

está utilizando como un primer paso de la trans-esterificación alcalina, para reducir los AGL a menos del 1%. El método está ganando adeptos debido a su efectividad.

El aceite crudo de jatrofa tiene un contenido en AGL de alrededor del 15% lo que sería incompatible con la trans-esterificación alcalina (Berchmans y Hirata, 2008). Sin embargo el precio del aceite crudo es mucho más bajo que el del aceite refinado con un contenido de AGL del 1%. Estos autores estudiaron además la comparativa en producción entre el aceite pre-tratado y no tratado, resultando una diferencia del 90% en el primer caso, y 55% en el segundo. Esto demuestra la importancia de reducir dicho nivel en el proceso previamente a la trans-esterificación. Igualmente se vio que era más rentable utilizar NaOH que KOH como catalizador alcalino.

En la Tabla 42 se recoge el resultado obtenido por diferentes autores en sus ensayos de transesterificación en dos etapas.

Tabla 42.- Trans-esterificación en dos etapas según diferentes autores

Autor	Catalizador Ácido/base	Tiempo (min.) (1)	Temperatura (°C) (2)	Proporción molar	Cantidad Catalizador	Porcentaje Conversión
Berchmans (2008)	SO ₄ H ₂ /NaOH	60/120	65	6,7:1	1,4% v/v	90
	SO ₄ H ₂ /NaOH	180/180	50	9,6:1	1,0%v/v	90
Jain (2010)	SO ₄ H ₂ /NaOH	88/24	60	4:1	0,55%v/v	99
Tiwari (2007)	SO ₄ H ₂ /NaOH	120/120	60	9:1	4,5%v/v	90-95
	SO ₄	120/120	64	6:1	1,3%v/v	98
Patil (2009)	H ₂ /TiO ₂ /KOH	120/120	60	6:1	1,0%v/v	99,5
Li (2009)	SiO ₂					
Corro (2010)	HF/NaOH					

Fuente: Juan *et al.* (2011)

(1) Tiempo de reacción de la catálisis ácida/catálisis alcalina

(2) Se refiere a la temperatura del 2º paso del proceso

3.4.1.1.3.5. Trans-esterificación con alcohol catalizada por una enzima

La desventaja de utilizar productos químicos como catalizadores para la trans-esterificación del aceite de jatrofa (tales como el pre-tratamiento, recuperación del glicerol, eliminación del catalizador y elevado consumo de energía) han desanimado a mucho investigadores a buscar un procedimiento más adecuado desde el punto de vista ambiental. El enfoque enzimático podría resolver estas cuestiones ya que es más eficiente, altamente selectivo, implica menor consumo de energía, produce menos residuos y es reciclable, ya que las enzimas se pueden inmovilizar en el medio (Robles-Medina *et al.*, 2009) Se ha visto además que las reacciones enzimáticas no son sensibles al contenido de ácidos grasos libres o de agua de la materia prima (Kulkarni *et al.*, 2006).

Las lipasas son las enzimas que catalizan la hidrólisis de cadenas largas de triglicéridos insolubles y de otros ésteres insolubles de ácidos grasos. Debido a su selectividad, la producción es mayor que cuando se trabaja con reacciones no enzimáticas (Juan *et al.*, 2011). Se ha estudiado la obtención de biodiesel de aceite de jatrofa usando lipasas procedentes de *Candida antartica*, *Mucor meihei*, *Thermomices lanuginosus*, *Pseudomonas cepacia* y *Rhizopus oryzae*. De todas ellas, las más efectivas han resultado ser la de *C. antartica* y *P. cepacia*. Este proceso requiere baja temperatura y baja proporción molar alcohol: aceite. Con ambas enzimas, el porcentaje de obtención de biodiesel alcanza el 98%. Por el contrario, el proceso es más largo que cuando la reacción es catalizada por una base. Además se requiere todavía más tiempo si se usa un sistema enzimático libre de solvente. El principal problema en la actualidad con este proceso es la inactivación enzimática que causa el metanol. El uso de solventes, evitaría este problema pero no sería adecuado por la toxicidad, mayor coste del proceso y problemas ambientales asociados. Por ello, se necesitan más estudios para superar estos problemas antes de producir biodiesel a gran escala mediante reacción catalizada por una enzima (Juan *et al.*, 2011).

En relación con futuros usos del biodiesel, la tendencia al aumento de los costes del queroseno y la reciente inclusión de la aviación en el sistema europeo de comercio de emisiones de GEI hace que las compañías aéreas se planteen en serio la utilización de biocarburantes tanto por sus costes como por su impacto ambiental (APPA, 2009).

El Reglamento (UE) n° 82/2010²⁹⁸ establece la lista de compañías aéreas que están obligadas a declarar sus emisiones de GEI. Se aplica una cláusula de exclusión relacionada con el número de vuelos por año principalmente, de modo que las compañías de muy poca actividad están excluidas²⁹⁹.

El informe de APPA (2009) subraya que, para sustituir al queroseno empleado en la aviación comercial, los combustibles alternativos utilizados (incluidos biocarburantes) deberán cumplir dos requisitos fundamentales: (1) elevado contenido energético por unidad de volumen y (2) resistir las bajas temperaturas que soportan las aeronaves en vuelo. El más adecuado es el biodiesel ya que su contenido energético es más cercano al del queroseno y, en un futuro próximo, los nuevos aditivos anticongelantes harán viable su utilización a bajas temperaturas.

Se están realizando vuelos de prueba con aerolíneas como VIRGIN ATLANTIC, CONTINENTAL AIRLINES y NEW ZEALAND, entre otras, con el objeto de comprobar la compatibilidad biodiésel-aviación comercial (APPA, 2009).

Por su parte, en EE.UU., la empresa APPLIED RESEARCH ASSOCIATES, Inc. (ARA) está llevando a cabo el proyecto denominado “*Jatropha Harvest Experience*” que consiste en probar una mezcla de aceite de jatrofa, ricino y algas. Esta mezcla da lugar a un combustible similar al queroseno. El objetivo

²⁹⁸ Reglamento (UE) n° 82/2010 de la Comisión de 28 de enero de 2010 que modifica el Reglamento (CE) n° 748/2009 sobre la lista de operadores de aeronaves que han realizado una actividad de aviación enumerada en el anexo i de la directiva 2003/87/CE el 1 de enero de 2006 o a partir de esta fecha, en la que se especifica el estado miembro responsable de la gestión de cada operador. DOUE L 25/12 de 29.1.2010, pp.....

²⁹⁹ Esta obligación puede tener una gran repercusión en la producción de biodiesel a partir de jatrofa debido a que la compañía BOEING ya está llevando a cabo ensayos en México con esta planta para la producción de biodiesel para la aviación. Se fabrica a partir de una mezcla de aceite de ricino y jatrofa.

es lograr un biocombustibles para sustituir al queroseno porque la industria de la aviación en EE.UU. utiliza unos 6.000 millones de litros al año y es responsable del 5% de las emisiones de GEI.

A principios de abril de 2011 el fabricante aeronáutico europeo AIRBUS en colaboración con INTERJET, ha llevado a cabo en México un vuelo de demostración en el que se utilizó una mezcla que incorporaba el 30% de biocombustible producido a base de aceite de jatrofa. El vuelo, se enmarca en un proyecto que desarrollan ambas compañías, para producción de biocombustibles renovables con el fin de crear una plataforma mexicana de bio-queroseno para la aviación en México. Este país se ha fijado como objetivo cubrir al menos el 1% de la demanda nacional para 2015, equivalente a unos 40 millones de litros anuales, y elevarlo al 15% en 2020, es decir, más de 700 millones de litros. México se convierte, así, en el segundo país de Iberoamérica, tras Brasil, que lleva a cabo una prueba de vuelo de demostración impulsado por este biocombustible.

3.4.2. Residuos y subproductos

3.4.2.1. Glicerina

Uno de los principales hándicaps en el proceso de obtención del biodiesel, es que se produce entre 80–100 g. de glicerina bruta por cada litro de producto final. La glicerina se puede utilizar, sin que origine efectos adversos sobre la salud animal y como un componente rico en energía en los piensos, siempre que los porcentajes de incorporación no superen el 15% en la dieta de los rumiantes, al 10% en la de los animales monogástricos y proceda de cultivos vegetales (EFSA, 2010).

La Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) ha evaluado recientemente los posibles riesgos abióticos de la glicerina que se produce a partir de la obtención del biodiesel procedente de aceites vegetales. La

glicerina se metaboliza por el organismo para formar glucógeno que es una fuente directa de energía³⁰⁰.

Los estudios realizados a largo plazo (Donkin *et al.*, 2007; Hippen *et al.*, 2008; Cottrill *et al.*, 2007; Della Casa *et al.*, 2009 han puesto en evidencia que la glicerina sintética es biológicamente similar a la glicerina natural (EFSA, 2010). Se ha comprobado, además, que la toxicidad aguda y a largo plazo de la glicerina tanto para los animales como para el medio ambiente es muy baja. La EFSA ha evaluado asimismo la posible toxicidad de las impurezas que acompañan a la glicerina obtenida a partir de la fabricación del biodiesel: metanol, presente en el 0.5% de media y sodio (1,07-1,2%). Ambos se añaden en el proceso de obtención del biodiesel como catalizadores de la reacción. El sodio en forma de hidróxido sódico (NaOH). Así, el Panel Científico de Contaminantes en la Cadena Alimentaria (CONTAM) de la EFSA concluye que es muy poco probable que estas impurezas puedan presentar efectos adversos para la salud animal. Por el contrario, manifiestan su preocupación por los altos contenidos residuales de etanol y potasio, que pueden estar presentes en la glicerina que se deriva de la producción de biodiesel obtenido a partir de grasas animales u otros productos diferentes a los aceites vegetales. No existen todavía estudios concluyentes al respecto, que aseguren que los contaminantes abióticos producidos en este caso sean inactivados en el proceso de producción (EFSA, 2010).

En algunos mercados, como el brasileño, la glicerina en bruto se ha considerado un subproducto sin valor, cuando ahora se sabe que puede tener importantes aplicaciones. En Brasil, la obligación de mezclar el 2% de combustible ecológico al diesel convencional está dando lugar a un volumen estimado anual de glicerina de unos 100 Ml. Esta glicerina se puede utilizar en la industria del embalaje y en la construcción civil con productos que son más competitivos en precio y calidad. La mezcla de la glicerina con fibras vegetales permite la obtención de paneles muy similares a los de contrachapado. El proceso es doblemente ecológico ya que utiliza un producto potencialmente ecológico y por otro lado, las fibras vegetales. Su fabricación

³⁰⁰ Question number: EFSA-Q-2009-00858 Publicada 16 de diciembre de 2010. EFSA Journal 2010; 8(12):1934 [22 pp.]. doi:10.2903/j.efsa.2010.1934

puede ser además una fuente de empleo Actualmente se están realizando pruebas de campo para probar la resistencia de este material al agua y definir qué tipo de fibras son las más adecuadas (Diniz, 2009).

La glicerina purificada se puede utilizar en alimentación (humana y animal) y en la industria química, pero el proceso de purificación tiene un coste elevado que no es asumible para muchas pequeñas empresas en países en desarrollo.

Se ha descubierto que el glicerol puede convertirse en etanol mediante el uso de enzimas de cepas bacterianas de *Escherichia coli* modificadas genéticamente. Los rendimientos del etanol producido de esta manera son mayores que los rendimientos del que se produce por otros métodos y, además, los costes de producción son más bajos. Se pueden obtener también otros productos químicos, como ácido fórmico y succínico, que tienen mayor valor comercial que el etanol. El ácido fórmico puede utilizarse en las pilas de combustible, mientras que el ácido succínico sirve para evitar la toxicidad de solventes, productos farmacéuticos y para la industria alimentaria (Bioenergysite, 2008)³⁰¹.

Investigadores de la Universidad de Leeds (DuPont, 2007) han demostrado que el glicerol puede ser convertido en gas rico en hidrógeno. El glicerol tiene una gran demanda como fertilizante, en plantas químicas y en la producción de alimentos. El otro componente, el hidrógeno, es considerado actualmente como la alternativa “limpia” de los combustibles basados en los hidrocarburos y la mayoría de los países que los utilizan están investigando detenidamente su aplicación.

Este novedoso proceso mezcla el glicerol con vapor, a temperatura y a presión controladas, para separar los restos del hidrógeno, agua y CO₂, para obtener un producto de mayor pureza. El hidrógeno se considera el combustible del futuro en sistemas energéticos bajos en carbono como son las llamadas pilas de combustible. Sus métodos actuales de producción son caros y poco

³⁰¹ Disponible en : <http://www.thebioenergysite.com/news/1717/conversion-of-biodiesel-waste-into-ethanol>

sostenibles ya que, usan tanto combustibles inorgánicos como el gas natural u otros métodos menos eficientes como la electrolisis del agua.

Por el contrario, este nuevo proceso es limpio y es una alternativa renovable a los métodos convencionales. Produce algo con alto valor a partir de un subproducto para el que hay pocas salidas económicamente viables. Además, es un proceso casi neutro en carbono ya que el CO₂ que se produce no deriva de un combustible fósil. Se considera que el proceso es fácilmente aplicable a escala industrial y como la carrera hacia la economía del hidrógeno se acelera, podría ser una forma, económicamente importante y sostenible ambientalmente, de cubrir la demanda creciente de hidrógeno.

La economía del hidrógeno se basa en la utilización de pilas de combustible y en la producción de energía eléctrica en lugar del motor de combustión interna, y es eficiente y de baja energía, apta para resolver el problema de las emisiones de GEI y otros contaminantes de la atmósfera (DuPont, 2007).

Si bien es probable que queden muchos años por delante hasta lograr una obtención económica del hidrógeno, resolviendo las cuestiones de infraestructura y almacenaje, la alternativa sostenible en la actualidad es el biodiesel utilizado en los motores de combustión³⁰².

La producción de hidrógeno es una actividad creciente. En el año 2004 se produjeron globalmente, unos 50 Mt de hidrógeno, equivalentes a unos 170 Mt de aceite. La proporción es del 10% anual. En los EE.UU., la producción en el 2004 fue de 11 Mt, con un flujo energético medio de 48 Giga vatios³⁰³. En comparación, la producción eléctrica media en 2003 fue de 442 Giga vatios. En el 2005, el valor económico del hidrógeno producido en todo el mundo fue de 104 M€ anuales (DuPont, 2007).

³⁰² Al igual que otros muchos autores, este solamente repara en el aspecto de la mayor eficiencia energética del biodiesel para fomentar su uso, sin reparar en las mayores emisiones de NO₂ que produce en relación con el diesel y los problemas que esto representa para la calidad del aire.

³⁰³ Unidad de potencia en el Sistema Internacional equivalente a mil millones de vatios, 1 GW = 1.000.000.000 W

Otras de las aplicaciones que podrían utilizar este producto son la combustión para producir biogas y fertilizantes o los plastificantes de firmes biodegradables (Diniz, 2009).

3.4.2.2. Otros usos.

Recientemente, se ha demostrado que los residuos de jatrofa pirrolizados a 800°C, tras activación con hidróxido de potasio, podían generar un carbón activado de bajo coste, como adsorbente con propiedades muy interesante para diferentes industrias (Kohli, 2008).

3.4.3. Toxicología del biodiesel

La utilización del biodiesel produce una reducción de casi todas las emisiones y es una alternativa más sostenible si consideramos el volumen de contaminantes que emite el diesel tradicional a la atmósfera (Tabla 43). Los principales contaminantes resultantes de la combustión del biodiesel son los NOx, que se producen en mayor medida, el monóxido de carbono (CO) y las partículas en suspensión o material particulado que en general supone el 50% menos del emitido por el diesel convencional. (Ver apartado 1.3)

Tabla 43.- Comparación de emisiones de biodiesel respecto al diesel convencional

Tipo de emisión	B100³⁰⁴	B20
<u>Regulado</u>		
- Total de Hidrocarburos no quemados	-67%	-20%
- Monóxido de Carbono	-48%	-12%
- Partículas	-47%	12%
- Óxidos de Nitrógeno	± 2%	± 2%
<u>No-Regulado</u>	-100%	-20%
- Azufre	-80%	-13%
- HAP (Hidrocarburos aromáticos policíclicos)	-90%	-50%
- nHAP (nitrato HAP)	-50%	-10%
- Hidrocarbonos (ozono)		

Fuente: www.dieselloverde.com

³⁰⁴ B100 es biodiesel puro no mezclado con gasóleo.

3.4.3.1. Óxidos de nitrógeno

Los óxidos de nitrógeno, cuya presencia se denominan en general como NO_x (conjunto de NO y NO₂), incluyen principalmente:

1. Óxido nitroso (N₂O)
2. Óxido nítrico (NO) y
3. Dióxido de nitrógeno (NO₂)

Óxido nitroso (N₂O)

El N₂O de la troposfera es inerte y su semivida es de unos 170 años. Se degrada en la estratosfera mediante reacciones fotoquímicas que pueden tener influencia en la destrucción de la capa de ozono. Procede fundamentalmente de emisiones naturales (procesos microbiológicos en el suelo y en los océanos) y menos de actividades agrícolas y ganaderas (alrededor del 10% del total) (Wright, 2003).

Óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂)

El óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂) se suelen considerar en conjunto con la denominación de NO_x. Son contaminantes primarios de mucha trascendencia en los problemas de calidad del aire y se consideran GEI.

La Directiva 2008/50/CE³⁰⁵ relativa a la calidad del aire, proporciona una definición específica de estos compuestos³⁰⁶.

El valor límite³⁰⁷ para el NO₂ es de 200 µg/m³, y la emisión no podrá ser superior a 18 veces ese valor por cada año civil. El compuesto emitido en más

³⁰⁵ Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de mayo de 2008 relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa. DO L 152 de 11.6.2008, pp. 1-44.

³⁰⁶ Óxidos de nitrógeno*: suma en partes por mil millones en volumen de monóxido de nitrógeno (óxido nítrico) y dióxido de nitrógeno, expresada en unidades de concentración másica de dióxido de nitrógeno (µg/m³).

³⁰⁷ La Directiva 2008/50/CE define valor límite como: nivel fijado con arreglo a conocimientos científicos con el fin de evitar, prevenir o reducir los efectos nocivos para la salud humana y el medio ambiente, que debe alcanzarse en un período determinado y no superarse una vez alcanzado;

cantidad es el NO, aunque sufre una rápida oxidación a NO₂, que predomina en la atmósfera. NO₂ tiene una semivida corta y se oxida rápidamente a NO₃ en forma de aerosol- o a HNO₃. Tiene una gran importancia para la formación del “smog fotoquímico”³⁰⁸ y de nitrato de peroxiacetilo (PAN)³⁰⁹, e influye en las reacciones de formación y destrucción del ozono, tanto troposférico como estratosférico, así como en el fenómeno de la lluvia ácida. En concentraciones altas produce daños a la salud y a las plantas y desgasta tejidos y materiales diversos.

Las actividades humanas que lo producen son, principalmente, las combustiones realizadas a altas temperaturas. Más de la mitad de los gases de este grupo emitidos en España proceden del transporte.

Las emisiones al ambiente proceden de las emisiones directas de NO₂ más las del NO que se convierte en NO₂ por reacciones químicas con el O₃. Habitualmente, las concentraciones de NO₂, NO, y O₃ están en equilibrio (equilibrio fotoquímico) que depende de la radiación solar y los cambios en la temperatura. En el medio urbano, los niveles de NO₂ dependen del nivel de base y de la contaminación local. Las fuentes de emisión urbanas (industrias, combustible de calefacciones y tráfico) contribuyen al nivel de fondo como lo hacen los contaminantes a larga distancia. En las emisiones del tráfico podemos diferenciar dos tipos (Lahl y Lambrecht, 2008):

1. El NO₂ primario es emitido directamente por los vehículos. Numerosos estudios (Lambrecht, 2005; Carslaw, 2005) han demostrado que la proporción de NO₂ en las emisiones de NOx de los vehículos diesel ha aumentado significativamente en la última década y muy probablemente a causa del uso de los conversores de oxidación

³⁰⁸ La palabra inglesa *smog* (de *smoke*: humo y *fog*: niebla) se usa para designar la contaminación atmosférica que se produce en algunas ciudades como resultado de la combinación de unas determinadas circunstancias climatológicas y unos concretos contaminantes. El fotoquímico es resultante de la mezcla de contaminantes primarios y de secundarios (derivados éstos en la atmósfera de moléculas primarias, por reacción fotosintética).

³⁰⁹ Habitualmente conocido como PAN: (CH₃COOONO₂), contaminante secundario con efectos irritantes de las mucosas a bajas concentraciones. A altas concentraciones, se ha demostrado efecto cancerígeno (tumores epiteliales) y nocivo para los vegetales

catalítica, pero también debido al hecho de que la proporción de vehículos diesel ha aumentado considerablemente en estos años.

2. El NO_2 formado como resultado de las reacciones químicas atmosféricas: el NO de los motores de los vehículos reacciona con el O_3 para formar NO_2 . Las reacciones con otros radicales OH también oxidan O_3 en la formación de NO_2 . Las altas concentraciones de ozono que se dan por la tarde contribuyen de forma significativa a la formación de dióxido de nitrógeno secundario (Lahl y Lambrecht, 2008).

Tendencia de las emisiones para el 2015

En general, y más particularmente en la UE, los valores límite de emisiones de NO_x de los vehículos se han hecho más estrictos en los últimos años. Las normas Euro³¹⁰ 5/6 para automóviles y Euro VI para vehículos pesados disminuirán estos límites aún más. En el pasado se sabía poco sobre la proporción de NO_2 en las emisiones de NO_x . Normalmente se asumía que representaba el 5%. En la actualidad se ha estudiado esta cuestión más profundamente.

Un análisis de medidas actuales de este tipo (Lahl y Lambrecht, 2008), demuestra que las emisiones de NO_x de los vehículos de gasolina contiene solamente una pequeña proporción de NO_2 primario. Por el contrario en el caso de los vehículos diesel, el porcentaje de NO_2 en los NO_x es bastante mayor, incluso en los vehículos antiguos. Además ha habido un incremento significativo desde la entrada en vigor de los Euro 3. Esto se atribuye a los conversores catalíticos que se utilizan en los vehículos diesel para reducir las emisiones de CO e hidrocarburos, ya que como efecto lateral se produce la oxidación del NO a NO_2 . Las mayores proporciones se han observado en los vehículos diesel Euro 4 que llevan filtros para las partículas. De este modo a pesar de la disminución de emisiones de NO_x , las de NO_2 propias de los

³¹⁰ La normativa Euro hace referencia a la tecnología de post-tratamiento de gases de escape. La numeración árabe se refiere a vehículos ligeros mientras que los números romanos son utilizados para las normas relativas a vehículos pesados.

vehículos diesel han aumentado del Euro 1 al Euro 4 (Lahl y Lambrecht, 2008). Se espera que esto este disminuyendo desde la entrada en vigor de los límites fijados en los estándares Euro 5 (2008) y Euro 6 (2014).

Los vehículos pesados y los autobuses sin tecnologías de tratamiento de los gases de escape tienen bajas emisiones de NO₂ que además han disminuido con los estándares más restrictivos. En este caso también, aquellos vehículos dotados de sistemas de reducción de partículas, según el sistema, presentan emisiones de NO₂ específicas más altas. Estos sistemas producen NO₂ para regenerar el filtro.

La nueva Directiva de calidad del aire (Dir.2008/50/CE)³¹¹ establece la posibilidad de que las ciudades puedan solicitar un periodo de adaptación a los nuevos valores límite de NO₂ hasta el 2015. Para lograr el cumplimiento en esa fecha es preciso realizar importantes ajustes de emisiones en la mayoría de las ciudades. Hay que ir mucho más allá de los escenarios previstos hasta ahora. Esto implica enormes reducciones de ambos, el primario procedente de las fuentes locales y el nivel de fondo con sus numerosas fuentes de emisión. Los vehículos diesel son el principal culpable, representando cerca del 80% del total de emisiones (Lahl y Lambrecht, 2008).

Básicamente, cualquier descenso efectivo de las concentraciones de NO₂ se apoya en las emisiones de NO₂ primario y de NO procedente del tráfico y de otras fuentes. Por su alta contribución es preciso otorgar una importancia especial a las procedentes del tráfico. Con la entrada en vigor de los nuevos estándares y el esperado aumento de vehículos de este tipo, se espera que se produzca un descenso de las emisiones. Puesto que el Euro 6 no entra en vigor hasta el 2014, algunos países como Alemania están procediendo a introducir elementos para adelantar esta fecha de modo que pueda tener un efecto real para el 2015. Entre estos estarían las reducciones de impuestos. Por tanto parece importante asegurar que realmente las emisiones de NO_x y de NO₂ se reducirán drásticamente de forma real en las ciudades³¹². Así, sería

³¹¹ DO L 152 de 11.6.2008, pp. 1-44.

³¹² La ciudad de Madrid adquirió en 2008 el compromiso de su Alcalde de que para el 2011 toda la flota municipal y la de las empresas que colaboran con el consistorio, serán vehículos más ecológicos. Para ello, se ha llevado a cabo un importante esfuerzo de

realmente útil contar con un compromiso voluntario de la industria del automóvil. En las áreas urbanas muy contaminadas, sería importante reemplazar vehículos con motores de combustión por vehículos eléctricos (Lahl y Lambrecht, 2008).

En cuanto a los vehículos pesados y autobuses, la introducción de la norma Euro VI representa una reducción del 80% de las emisiones con respecto a la Euro V. Es preciso asegurar que las tecnologías utilizadas para tratar los gases de escape no aumenten las emisiones primarias de NO₂.

En California (EE.UU.) primero y después en el resto del país, ha entrado en vigor una norma que limita las emisiones de NO₂ procedentes de estas tecnologías (EPA, 2007).

Se ha comprobado que las emisiones son mayores durante la aceleración y cuando se conduce a alta velocidad, por lo que el establecimiento de límites en las ciudades puede ser una buena medida, de eficacia similar a reducir el tráfico de vehículos privados, concentrar pasajeros (promoción del transporte público, vehículos privados compartidos y la introducción de la bicicleta en el transporte intermodal) (Lahl y Lambrecht, 2008).

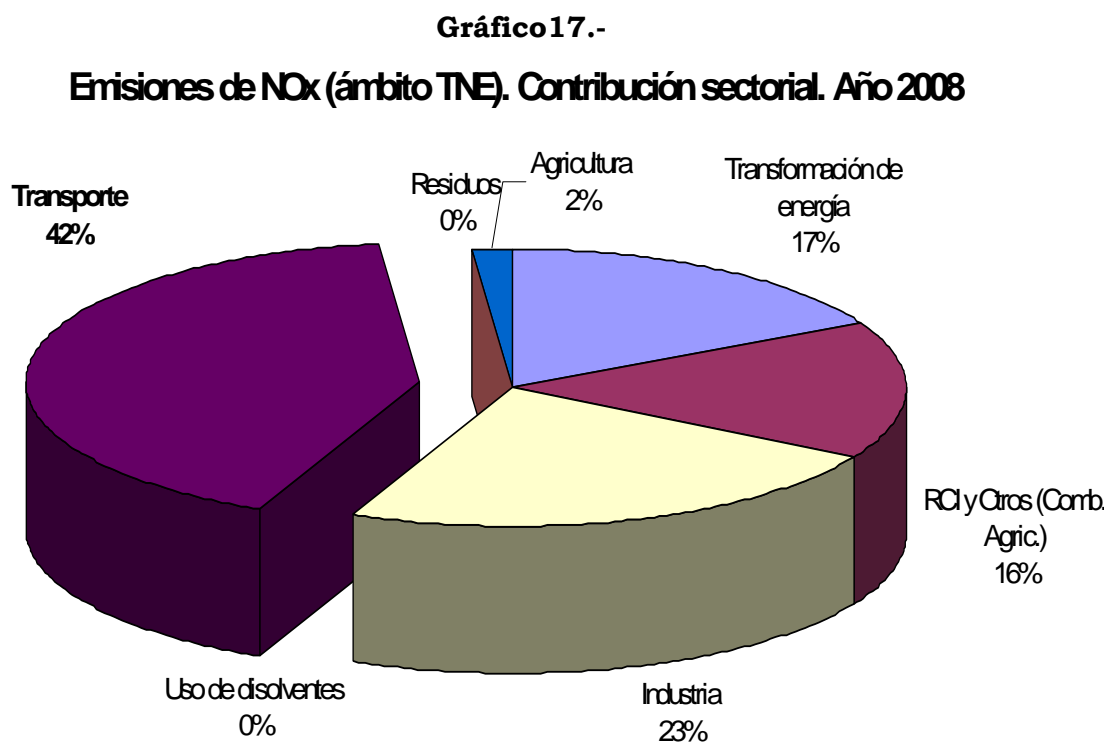
Un reciente estudio realizado en la ciudad de Madrid (Lopez-Martinez *et al.*, 2010) ha comparado las emisiones contaminantes de diferentes tipos de autobuses urbanos de la Empresa Municipal de Transportes (EMT) según su norma anticontaminante, en un ciclo de conducción real y con 3 tipos de carburante: (1) gasóleo, (2) B100 y (3) gas natural (GNC). El análisis se realiza con autobuses de tipo Euro III, Euro IV y EEV³¹³.

diversificación de combustibles alternativos (biocombustibles, gas licuado del petróleo, gas natural) con menores emisiones de CO₂ y de óxidos de nitrógeno, incluso vehículos y autobuses eléctricos en el marco del proyecto MOVELE. <http://www.madrid.es/portales/munimadrid/es/Inicio/El-Ayuntamiento/Medios-de-Comunicacion/Notas-de-prensa?> (8.02.08)

³¹³ EEV (vehículos ecológicos mejorados) es el estándar de emisión de gases de escape más estricto para los motores de combustión interna publicados hasta la fecha. El estándar EEV impone emisiones extremadamente bajas de materia particulada, la cual constituye una seria amenaza para la salud y la calidad de vida.

Sabemos que la aplicación de estas normas ha producido una reducción importante de las principales emisiones de carácter local como el CO, CH, NO_x y partículas, y además se espera que se mantenga esta tendencia. El biodiesel se está utilizando en sustitución del gasóleo ya que es un producto biodegradable que presenta menores emisiones de CO, de hidrocarburos no quemados y de partículas, pero diferentes estudios, como el mencionado anteriormente, han demostrado que produce mayores emisiones de NO_x.

El Gráfico 17 muestra la contribución de los diferentes sectores a las emisiones de NO_x en España en el año 2008



Fuente: Lumbreras (2010), con datos del Inventario Nacional de Emisiones³¹⁴.

La Tabla 44 muestra la evolución de las diferentes normativas anticontaminantes aplicadas a motores pesados, tal y como se regula en la Directiva 88/77/CE³¹⁵.

³¹⁴ Presentación realizada en la Jornada sobre Transporte Colectivo Limpio. Madrid, 20 de septiembre de 2010.

³¹⁵ Directiva 88/77/CE de 3 de diciembre de 1987 relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre las medidas que deben adoptarse contra la emisión de gases y partículas contaminantes procedentes de motores diesel destinados a la propulsión de vehículos. DO L 36 de 9.2.1988, p.33-61.

Tabla 44.-Evolución de las diferentes normativas anticontaminantes aplicadas a motores pesados

	NOx (g/kWh)	CH (g/kWh)	PM (g/kWh)
Euro I (92-93)	8,0	1,1	0,36
Euro II (95-96)	7,0	1,1	0,15
Euro III (2000)	5,0	0,66	0,10/0,16
Euro IV (2005)	3,5	0,46	0,02/0,03
Euro V (2008)	2,0	0,46	0,02/0,03
EEV	2,0	0,25	0,02

Fuente: CE (1988)

Tabla 45.- Resultados medios de los ensayos realizados en los autobuses

Vehículo	CO (g/km)	CO₂ (g/km)	CH (g/km)	NOx (g/km)	Consumo (g/km)	PM (g/km)	Consumo (litro/100 km)
Euro III Gasóleo	7,43	989,81	0,75	14,04	317,65	0,205	37,37
Euro IV Gasóleo	1,23	1038,08	0,09	13,47	329,68	0,06	38,79
Euro III B100	5,84	1098,89	0,38	20,09	351,00	0,09	39,44
Euro IV B100	0,55	1153,27	0,05	17,12	365,26	0,04	46,28
EEV- GNC	34,10	1869,79	2,23	14,48	656,30	-	100,81

Fuente: Lopez-Martinez *et al.* (2010)

Para el caso del gasóleo, se observa una fuerte reducción de CO, CH y de PM al pasar de Euro III a Euro IV. Para el biodiesel se reduce el CO el 90% con ese paso. No obstante, este combustible presenta los valores más elevados de NOx.

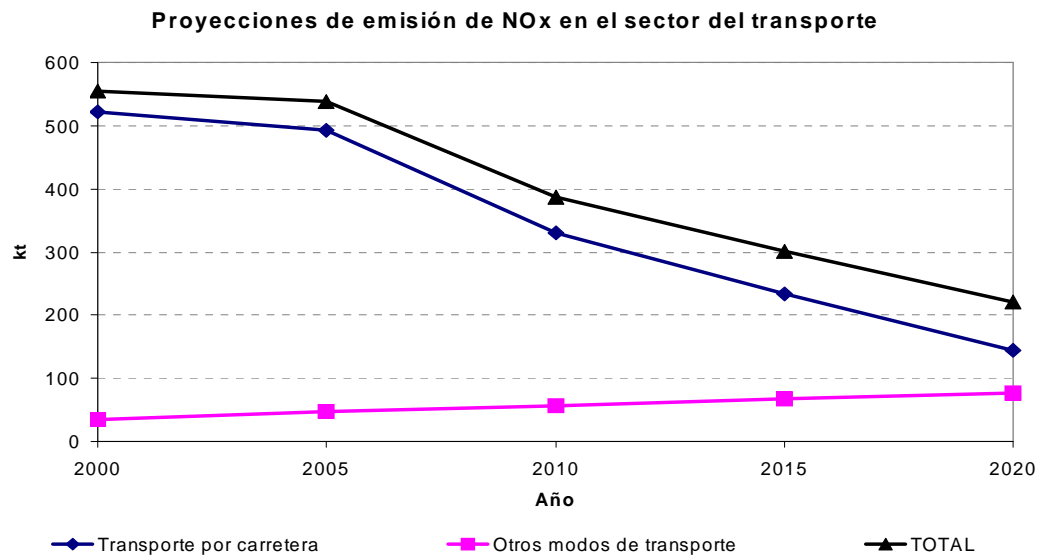
Los vehículos alimentados con gas natural presentan en general emisiones algo mayores de CO₂, CO y CH₄, que el resto de los vehículos que se analizan, pero por el contrario presentan menores emisiones de NO_x con respecto al biodiesel y similares al gasóleo y además no emiten partículas³¹⁶, aunque también su consumo es mayor.

Otro sector causante de dispersión de la contaminación de NO₂ es el marítimo. Los combustibles utilizados por los barcos causan graves problemas especialmente en ciudades portuarias. En la actualidad la industria se ha comprometido a asegurar la fabricación del gasóleo marítimo libre de azufre que constituye la base para el uso de tecnologías de control de los gases de escape y filtros para las partículas. Es evidente que la única forma de reducir los niveles de fondo de NO_x es luchar contra las emisiones procedentes de otras fuentes distintas al tráfico, como son la industria, los hogares y las centrales térmicas, entre otras (Lahl y Lambrecht, 2008).

En el Gráfico 18 se observa la tendencia proyectada de las emisiones de NO_x en España gracias a las políticas y medidas adoptadas como la renovación de flotas y la penetración de tecnologías EURO. El transporte por carretera pasa de representar el 87% del sector en 2008 al 65% en 2020.

³¹⁶ Este razonamiento es lo que está llevando a los responsables municipales y a muchas empresas a introducir el gas natural vehicular en sus flotas, con el objeto de mejorar los parámetros de la calidad del aire de las ciudades en todo el mundo.

Gráfico 18.-



Fuente: Lumbreras (2010), con datos del Inventario Nacional de Emisiones.

Los NO_x producen *importantes impactos ambientales y en la salud*. La naturaleza es la productora principal de óxidos de nitrógeno, mediante la descomposición bacteriana de nitratos orgánicos, por la combustión vegetal o por la actividad volcánica. No obstante, la actividad humana está incrementando la emisión de este tipo de gases, mediante el escape de vehículos motorizados, sobre todo de tipo diesel, la combustión del carbón, petróleo o gas natural, el uso de fertilizantes, el incremento de residuos de origen humano y animal, y durante diversos procesos industriales.

El NO₂ puede convertirse en el aire en HNO₃, lo que provoca que el agua que cae de las nubes se vuelva tóxica, un fenómeno conocido comúnmente como "lluvia ácida" y que provoca graves daños en la naturaleza (acidificación, niveles excesivos de nutrientes en los ecosistemas y formación de material particulado secundario) y en los edificios. Asimismo, los NO_x pueden reaccionar con compuestos orgánicos volátiles y producir el denominado "ozono terrestre o troposférico", por situarse en esta capa más baja de la atmósfera. Mientras que la capa de ozono situada en las zonas altas de la atmósfera nos protege de los rayos ultravioleta, el ozono troposférico es un peligroso agente tóxico que destruye a los vegetales, irrita las vías respiratorias y se convierte en un GEI.

En verano se produce el mayor incremento en la concentración de este tipo de ozono, por el aumento de la intensidad de la luz solar y las reacciones con los hidrocarburos volátiles que provienen de los gases de escape de los vehículos. Además, recientemente se ha conocido que los NO_x son los causantes de la reducción del denominado "ozono bueno" (Ravishankara *et al.*, 2009).

En cuanto a la salud, el NO₂ puede afectar al aparato respiratorio, irrita la piel y las mucosas, aumenta la predisposición a las infecciones virales, frena el crecimiento y provoca diversas lesiones. En los niños puede causar un desarrollo pobre del sistema respiratorio y debilitar su resistencia a las infecciones (Lahl y Lambrecht, 2008).

La reducción de este tipo de emisiones puede contribuir de forma importante a mejorar el medio ambiente, en concreto la calidad del aire y la salud de los ciudadanos. Los mayores esfuerzos para lograr la reducción de las emisiones se centran en el sector del transporte (Lahl y Lambrecht, 2008). En este sentido, por ejemplo, los fabricantes de automóviles se preocupan cada vez más en desarrollar tecnologías que limiten la emisión de este tipo de gases, como en los motores diesel. En el caso de otro de los principales emisores de NO_x, las centrales térmicas, existen también tecnologías, como la denominada "reducción catalítica selectiva", que contribuye a reducir la cantidad de NO₂ generado durante la combustión.

Los NO_x son usados en la producción de lacas, tinturas y otros productos químicos, como combustibles para cohetes, en la nitrificación de compuestos químicos orgánicos, en la manufactura de explosivos, como conservante para la carne, o para la producción de ácido nítrico, que a su vez es utilizado para crear abonos, colorantes, explosivos, fabricación del ácido sulfúrico, medicamentos y grabado de metales.

A finales del siglo XX se descubrieron los efectos beneficiosos de la utilización de diversos nitratos orgánicos empleados en el tratamiento de ataques de angina de pecho, dolores de pecho o arteriosclerosis ya que generan NO en el

sistema vascular así como efectos cardio-vasoprotectores (Bode-Böger y Kojda, 2005).

El documento de acompañamiento³¹⁷ de la Estrategia de la UE Energía Renovable: Progresando hacia el objetivo 2020 presentada en 2011 analiza los efectos sobre la calidad del aire de los productos de la bioenergía (biocarburantes) utilizando el informe 'BOLK II'³¹⁸ o estudio realizado a petición del Gobierno Holandés en 2009 en el que se analizaron las emisiones de los biocombustibles actuales y futuros, y las alternativas a los combustibles fósiles. Los cultivos energéticos comprendidos en el estudio fueron: colza, palma, madera y biogas para el biodiesel y, caña de azúcar, remolacha, madera y paja para el bioetanol. Las emisiones consideradas fueron CO₂, NO_x, SO_x, partículas (PM_{2.5} y PM₁₀) y compuestos orgánicos volátiles. Del estudio se deduce que el mejor comportamiento en estos términos proviene del biogás.

3.4.3.2. Partículas en suspensión

Las partículas suspendidas (PM), aeropartículas y aerosoles son algunos de los términos que se utilizan para denominar a la mezcla de compuestos microscópicos o muy pequeños en forma de líquidos y sólidos suspendidos en el aire. Su origen es variado, pueden proceder de las emisiones de los vehículos, de las centrales de generación eléctrica y de procesos bioquímicos. *Su tamaño y su composición son los parámetros más importantes, ya que determinan su comportamiento*, su permanencia en la atmósfera y los efectos potenciales para el medio ambiente y la salud humana. Si bien se estudian desde hace tiempo, más recientemente se ha comenzado a hacer desde el punto de vista toxicológico y epidemiológico ambiental, con la idea de conocer los mecanismos bio y fisiológico del daño que producen a la salud.

³¹⁷ Progresos recientes en el desarrollo de Fuentes de energía renovables y evaluación técnica del uso de biocarburantes y otros combustibles renovables en el transporte de acuerdo con el Art. 3 de la Directiva 2001/77/CE y el Art. 4.2 de la Directiva 2003/30/CE, SEC (2011) 130 final.

³¹⁸ Air polluting emissions from biofuels and biomass supply chains, Final report from the Dutch research program on air and climate (BOLK), ECOFYS BOLK II, Utrecht, 2009. Habitualmente se denominan según sus siglas en inglés PM (particulate matter= material particulado).

Se están realizando grandes esfuerzos nacionales e internacionales para controlar y mejorar la calidad del aire en las zonas urbanas o en aquellas en las que existe una alta concentración de PM. De este modo se han adoptado normas y legislación en todo el mundo. Para fijar límites de concentración de contaminantes en la atmósfera y mecanismos de respuesta en el caso de superarse los niveles establecidos (Rojas, 2003).

En este sentido, la Directiva 2008/50/CE³¹⁹ reconoce en su preámbulo³²⁰ la necesidad de la reducción de su concentración en la atmósfera.

En términos similares se manifiesta la OMS cuando afirma en su Revisión mundial de 2005 que: ...El proceso de fijación de normas sobre partículas en suspensión debe orientarse más bien a alcanzar las concentraciones más bajas posibles teniendo en cuenta las limitaciones, la capacidad y las prioridades en materia de salud pública en el ámbito local (WHO, 2005).

Partículas micrométricas

Las partículas son una mezcla suspendida de materiales sólidos y líquidos que pueden variar en tamaño, formas y composición, dependiendo sobre todo de su origen. El tamaño varía desde 0,005 hasta 100 μm de diámetro, lo que implica que puede variar desde unos cuantos átomos hasta el grosor de un cabello.

Las denominadas PM₁₀ o partículas con un grosor máximo de 10 micrómetros (μm), se pueden dividir por su tamaño en las fracciones gruesa, fina y ultrafina. La fracción gruesa está compuesta por partículas cuyo diámetro aerodinámico se encuentra entre 2,5 y 10 μm (PM_{2,5}-PM₁₀); la fina incluye partículas con diámetro inferior a 2,5 μm (PM_{2,5}) y la ultrafina se refiere a partículas inferiores a 1 μm .

³¹⁹ DO L 152 de 11.6.2008, pp.1-44.

³²⁰ “...las partículas finas (PM_{2,5}) tienen importantes repercusiones negativas para la salud humana. Aún no se ha fijado un umbral por debajo del cual las PM_{2,5} resulten inofensivas. De tal manera, este contaminante no debe regularse del mismo modo que otros contaminantes atmosféricos. Debe tenderse a una reducción general de las concentraciones en el medio urbano para garantizar que amplios sectores de la población puedan disfrutar de una mejor calidad del aire. No obstante, con el fin de asegurar un grado mínimo de protección de la salud en todas las zonas, este enfoque debe combinarse con un valor límite, que en una primera etapa debe ir precedido de un valor objetivo”.

Desde hace pocos años el foco de atención se ha centrado también en las partículas finas y ultrafinas, es decir entre 2,5 μm y 1 μm , respectivamente. El tamaño es el parámetro más importante de las partículas en términos de su comportamiento y por lo tanto de su distribución en la atmósfera. Las partículas finas tienen periodos de semivida en la atmósfera de días a semanas, recorren distancias de más de 100 km y tienden a ser especialmente homogéneas en áreas urbanas, por lo que sufren transformaciones, especialmente en periodos de estancamiento atmosférico o durante el transporte a larga distancia. Por el contrario, las partículas gruesas generalmente se depositan más rápidamente y tienen una semivida de minutos a horas (WHO, 2002).

Aunque la composición depende del origen y el tamaño, las partículas están compuestas por metales, compuestos orgánicos, material de origen biológico, iones, gases reactivos y la estructura misma de la partícula, que normalmente es de carbón elemental. Las fracciones ultrafina y fina están formadas por una estructura básica de carbono, metales diversos, hidrocarburos y partículas secundarias, formadas por condensación de vapores a altas temperaturas de partículas existentes o a partir de reacciones químicas en la atmósfera entre NO_x , SO_2 y otras moléculas reactivas (Hinds, 1999).

Las partículas se clasifican en función del tamaño y de su capacidad de penetración y depósito en los pulmones. Las mayores de 10 μm se depositan casi exclusivamente en la nariz y la garganta. Las PM_{10} , fracción torácica o inhalable, pueden penetrar y depositarse a lo largo del tracto respiratorio. Las partículas finas llegan a los bronquiolos respiratorios y región alveolar. Se denominan partículas respirables. La fracción más gruesa se deposita por sedimentación y la fina por difusión (Hinds, 1999).

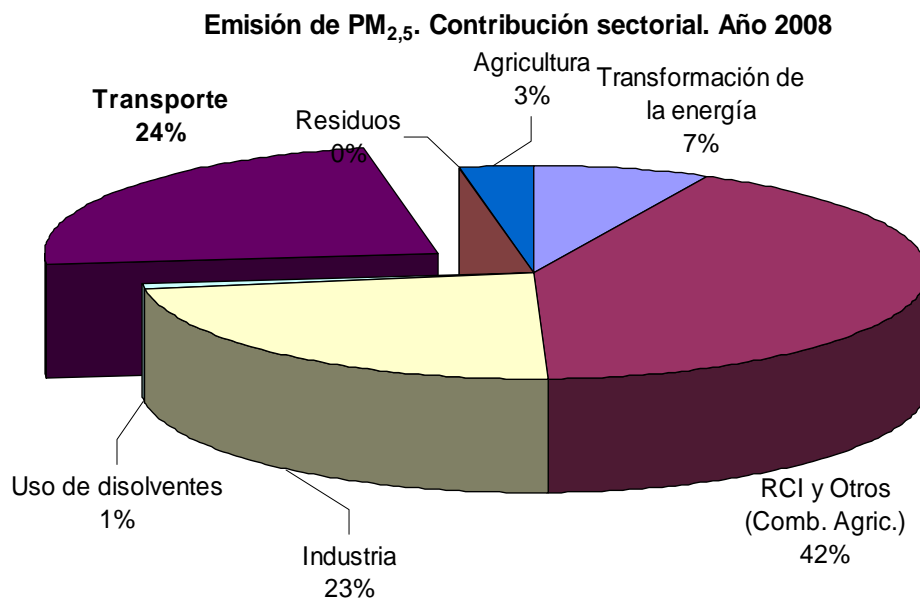
Fuentes de emisión

Las partículas pueden ser emitidas al ambiente por causas naturales o antropogénicas. Las naturales incluyen la actividad volcánica que las genera a partir de la roca cuarteada y separada durante la explosión, las tormentas de arena, incendios forestales, suelos erosionados, plantas y flores,

microorganismos, restos de animales y el mar. Por su parte, las fuentes antropogénicas de partículas ultrafinas y finas son procesos de combustión de papel, madera, carbón u derivados del petróleo, debido a que la combustión no es 100% eficiente y los fragmentos no quemados que se desprenden, se evaporan y condensan, o procesos metalúrgicos a altas temperaturas.

En el Gráfico 19 se representan los porcentajes de contribución de distintos sectores a la generación de partículas finas en suspensión.

Gráfico 19.- Contribución sectorial de emisiones de partículas 2,5 μ m en 2008



Fuente: Lumbreras (2010) con datos del Inventario Nacional de Emisiones³²¹.

En los medios urbanos las fuentes de partículas pueden ser los automóviles, autobuses, barcos, camiones de carga y equipos de construcción, hornos y plantas de energía e industrias. Las fuentes que inciden más en la calidad del

³²¹ Presentación realizada en la Jornada sobre Transporte colectivo limpio. Madrid, 20 de septiembre de 2010.

aire en los hogares son el humo del tabaco y la combustión de cocina y calefacción (HEI, 2002).

Efectos sobre la salud

El hecho de que los seres vivos necesitamos respirar para sobrevivir remarca la importancia para estos sistemas de los efectos de las partículas y materiales que lleva el aire en suspensión. El sistema respiratorio está en contacto continuo con el medio externo mientras que desarrolla su función primaria: la toma del oxígeno atmosférico y la eliminación del CO₂. La exposición a las partículas en suspensión es inevitable y tiene importancia en todas las enfermedades respiratorias.

Los pulmones son la única conexión entre el aporte sanguíneo al cuerpo y el medio exterior. Todos los materiales que entran en ellos tienen un acceso rápido al medio interno y por tanto posibilidad de producir una respuesta biológica, aparte de poder causar un daño directo en el tejido pulmonar y dar lugar a un mal funcionamiento de la función respiratoria (Kennedy *et al.*, 1982).

Sabemos que el sistema respiratorio consta de 3 partes: (1) la estructura nasofaríngea, (2) la traqueobronquial, y (3) la pulmonar. La primera parte está formada por la nariz, epiglotis, glotis, faringe y laringe y sirve de puerta de entrada para el aire inspirado. La nariz con sus membranas mucosas apoyadas en el cartílago, sirve para eliminar las partículas de mayor tamaño. El segundo componente formado por la tráquea y los bronquios que parten de la misma y terminan en los bronquiolos actúan de conducto para el aire. La superficie en todo este tramo está formada por células que segregar un mucus y otras que poseen una columna ciliada es decir repletas de microvellosidades que ayudan en la eliminación de partículas que son transportadas y posteriormente expectoradas. En esta sección se produce además el recalentamiento del aire a la temperatura del cuerpo. Finalmente el tercer componente, los pulmones, está formado por los alveolos y el tejido pulmonar esponjiforme. En los alveolos se da el intercambio gaseoso con la sangre circulante y la linfa. El tejido alveolar y los cientos de pequeños capilares separan perfectamente el aire externo de la sangre. El oxígeno se difunde y

pasa a los capilares sanguíneos mientras que el CO_2 es expirado. En situación de reposo viene a inspirarse unos 500 ml de aire en cada inspiración, a un ritmo medio de unas 12 por minuto. El O_2 transportado depende de la hemoglobina de las células sanguíneas. La curva de disociación de ambos compuestos depende del pH y de la temperatura. Cuando el porcentaje de CO_2 es mayor, disminuye el pH y por tanto la capacidad de transportar O_2 .

Además, el aire inspirado puede contener materiales tóxicos en forma de gases, aerosoles o polvo. Los primeros se disuelven en el tracto respiratorio y los de alta solubilidad son eliminados en el tracto alto respiratorio mientras que los menos solubles se pueden depositar en los espacios alveolares. El factor predominante que afecta a la deposición de las partículas es el tamaño y el movimiento de las mismas está afectado además por su densidad y su forma. Sin embargo existen agentes como el SO_2 que originan un aumento de la secreción mucosa que retarda el movimiento mucociliar y por tanto la eliminación de las partículas (Kennedy *et al.*, 1982).

Podemos distinguir 3 mecanismos independientes según los factores mencionados para su deposición:

1. Sedimentación. Las partículas suspendidas en un gas sedimentan lentamente por la gravedad. La velocidad es proporcional a la densidad y al cuadrado de su diámetro.
2. Difusión. Las moléculas de gas que rodean a las partículas las bombardean provocando un movimiento que origina un cambio de un volumen de gas de una región a otra. Esta propiedad es inversamente proporcional al diámetro de la partícula pero independiente de su densidad.
3. Inercia. Si cambia la dirección del flujo aéreo, la inercia de cualquier partícula suspendida la hará continuar en su dirección original durante una cierta distancia antes de responder al cambio. Esto depende de la velocidad y del ángulo de cambio en la dirección de la corriente, que finalmente depende de la densidad y del cuadrado del diámetro.

La limpieza alveolar se produce principalmente por la actividad fagocítica de los macrófagos que engloban a las partículas y las conducen a las terminaciones de los bronquiolos para que sean conducidas por el sistema mucociliar. Igualmente pueden ser transportadas a los nódulos linfáticos que drenan los pulmones.

La velocidad de eliminación de las partículas insolubles sigue unos parámetros experimentales que se clasifican de la siguiente forma:

- Para el material depositado en el tracto respiratorio alto, la velocidad de eliminación de partículas insolubles es rápida con tiempos medios de 12 a 24 horas.
- Para el material depositado en el parénquima de los pulmones, en primer lugar actúan los macrófagos alveolares. Las partículas fagocitadas migran a las células ciliadas o al sistema linfático a una velocidad de entre 2 a 6 semanas. Se puede dar un proceso mucho más lento para algunos materiales, con una duración media de meses. Durante este tiempo se produce la solubilización de algunos materiales por la acción de los fluidos corporales que puede implicar un tiempo medio de meses a años.

La toxicidad relativa de los compuestos puede alterar de manera importante la capacidad de los macrófagos para participar en el proceso de limpieza, ya que los materiales citotóxicos pueden dañar o incluso destruir estas células. Por ejemplo el dióxido de silíceo produce una respuesta citotóxica que origina una colección de partículas mucho menos susceptibles de eliminación y cuando aumenta la masa con la muerte de las células se forman nódulos. Se ha sugerido que esto puede ser la causa de reacciones pulmonares a largo plazo (Kennedy *et al.*, 1982).

Los valores guía para las partículas (PM)³²² que establece la OMS son:

PM_{2,5}: 10 µg/m ³ (media anual) 25 µg/m ³ (media de 24 horas)	PM₁₀: 20 µg/m ³ (media anual) 50 µg/m ³ (media de 24 horas)
---	--

Los estudios toxicológicos involucran la relación dosis-respuesta de un organismo determinado en condiciones controladas, exponiéndolo a diferentes niveles dosis del agente que se quiere analizar. Si bien estos estudios tienen más interés para determinar los efectos de exposiciones agudas, pueden servir también para determinar efectos causados por exposiciones crónicas al agente. En general estos ensayos se realizan con animales de laboratorio, preferentemente en roedores y bajo ciertas condiciones en humanos.

Por su parte, los estudios epidemiológicos se enfocan a grupos de personas, sus problemas y/o las causas de su muerte y se evalúan las relaciones entre estos y las causas que pudieran provocarlos. En el caso de la epidemiología ambiental, los estudios evalúan como es la exposición a un determinado agente ambiental, como la contaminación atmosférica y si se asocia con síntomas o con muertes prematuras de individuos susceptibles (Molina, 2002).

Aunque se conoce que las partículas tienen efectos nocivos, no se ha podido establecer qué propiedades de las mismas son responsables de su toxicidad. Esta puede asociarse con la mezcla de contaminantes que se encuentran en la atmósfera como el O₃ o los NO_x.

Existen estudios que permiten presentar un escenario bastante posible de cómo las partículas pueden alterar los sistemas cardiovascular y pulmonar, sobre todo en individuos susceptibles (asmáticos, personas con enfermedades pulmonares crónicas, arterioesclerosis o cardiopatías preexistentes), incluso en concentraciones bajas (HEI, 2002). No obstante, es imposible establecer relaciones concluyentes entre la exposición a las partículas y los problemas de

³²² La Directiva 2008/50/CE fija el valor límite para las PM₁₀ en: 50 µg/m³, que no podrá superarse más de 35 veces por año civil.

salud detectados ya que los estudios no representan las condiciones reales de exposición.

Aunque los estudios toxicológicos en humanos son muy útiles para encontrar relaciones dosis-respuesta, en realidad están limitados a grupos pequeños, exposiciones cortas y concentraciones relativamente bajas de contaminantes. Para ampliar estos estudios se utilizan animales de experimentación, pero no es fácil extrapolar los resultados de los animales al hombre (Rojas, 2003).

Los estudios epidemiológicos se vienen realizando desde hace décadas, de hecho los primeros se llevaron a cabo en los años 30. En muchos de ellos, resultó clara la relación entre las exposiciones muy elevadas a partículas y a SO₂, y los problemas cardiovasculares detectados (Schwartz, 1994).

En la actualidad estos estudios³²³ sobre los efectos de las partículas en suspensión sobre la salud cobran fuerza y en el ámbito internacional se han establecido dos tipos diferentes para evaluar la mencionada relación: (1) los estudios de series de tiempo (estudios estadísticos descriptivos utilizados para la valoración de exposición aguda) y análisis longitudinales (estudios epidemiológicos de cohortes, prospectivos "o retrospectivos") (Molina, 2002). En el ámbito europeo, en los últimos años se han llevado a cabo diversos proyectos multicéntricos utilizando técnicas de análisis de series temporales, como el proyecto APHEA³²⁴, que han aportado importantes conocimientos del impacto agudo de la contaminación en la salud. Aunque en menor número, también existen, a este respecto, varios estudios de cohortes como el de POPE (2002) (Ballester, 2005).

³²³ En Abril de 2010, la UE aceptó finalmente realizar un estudio de este tipo a un lado y otro del Peñón de Gibraltar, en respuesta a una solicitud formulada hace 3 años por los habitantes de la zona, debido a la gran cantidad de industrias que se concentran allí y el elevado número de casos de cáncer y otros problemas de salud que se registran. (DIARIO SUR, 2010).

³²⁴ APHEA (Efectos a corto plazo de la contaminación del aire sobre la salud: un enfoque Europeo. Es el mayor estudio multicéntrico realizado en 16 ciudades europeas y que relaciona mortalidad y exposición a contaminantes atmosféricos en especial a las partículas PM₁₀ y PM_{2.5}. Ha tenido varias fases y en concreto en APHEIS II se estimó, para Madrid, los beneficios potenciales que supondría en concepto de mortalidad prevenida, la disminución de los niveles de partículas, en especial de PM_{2.5}. No obstante y aunque se entiende la dificultad de obtener datos hospitalarios, para ser más rigurosos, debería relacionarse la exposición a los contaminantes atmosféricos con la morbilidad en lugar de la mortalidad.

En nuestro país, determinados grupos ecologistas, como “Ecologistas en Acción”, consideran que los estudios epidemiológicos son concluyentes para establecer la relación contaminación-problemas de salud, como se desprende de sus declaraciones (ECOLOGISTAS EN ACCIÓN, 2006)³²⁵.

Carbón elemental

El carbón elemental (BC) es una partícula de carbón que absorbe luz y que se produce por la combustión incompleta de diferentes combustibles. Estas partículas contribuyen en gran medida al calentamiento global al absorber directamente la luz solar y al calentamiento regional por el ennegrecimiento del hielo y de la nieve. El carbón elemental contribuye bastante en ambos ámbitos (Ramanathan, 2008).

Los beneficios climáticos inmediatos de la mitigación del carbón elemental son posibles debido a su bajo tiempo de permanencia en la atmósfera y a que ofrece una de las pocas vías para lograr buenos resultados climáticos a corto plazo. Debido a que habitualmente se emite en diferentes cantidades junto con otros contaminantes (aerosoles, GEI, contaminantes tóxicos) que tienen influencia en el clima también, así como sobre la salud pública, las medidas de mitigación se deben planificar reconociendo el impacto de la co-emisión de todos ellos.

A pesar de que se utilizan muchos términos diferentes para denominar estas partículas, no existe una definición universal todavía o una forma para identificar realmente qué elementos de las partículas aerosoles son más peligrosos cuando hablamos de cambio climático. Los estudios más recientes

³²⁵ “Respirar aire limpio y sin riesgos para la salud es un derecho inalienable de todo ser humano. No sólo es algo que parece obvio sino que así viene reflejado en la legislación básica de los estados. Sin embargo, la contaminación del aire causa 16.000 muertes prematuras al año en nuestro país. Es decir, en España a causa de la contaminación del aire fallecen 3 veces más personas que por los accidentes de tráfico y casi 100 veces más que por accidente” laboral. Estos datos lo convierten en un problema de salud pública y nos dan una imagen real de su magnitud. La literatura científica sobre calidad del aire y salud utiliza diferentes fuentes de información incluyendo estudios epidemiológicos, experimentos de exposición controlada de voluntarios a contaminantes, estudios toxicológicos en animales y estudios in vitro. Cada uno de estos mecanismos de abordar el asunto tiene puntos fuertes y limitaciones, pero la integración de los resultados obtenidos a partir de las diferentes fuentes permiten extraer conclusiones fidedignas. Los efectos que se han relacionado con el sistema respiratorio y el cardio circulatorio.”

sugieren que hay un gran grupo de aerosoles, a veces denominados “carbón marrón” ó “carbón que absorbe la luz” (Andreae, 2006).

Es evidente que el control de las emisiones del carbón elemental puede originar un beneficio significativo para la salud humana y para el clima, especialmente en las regiones más sensibles como es el Ártico. Mientras que la magnitud de sus efectos sobre el calentamiento global es incierta, existe bastante consenso en cuanto a su efecto regional sobre las masas de hielo y nieve. Por ello, merece la pena abordar medidas de mitigación en base a los beneficios regionales y para la salud.³²⁶

Una de las formas en que el BC produce un impacto sobre el clima es la absorción directa de la radiación solar que llega a la tierra. El BC junto con el O₃ y el CH₄ pueden contribuir al calentamiento del Ártico en un grado que es comparable al CO₂, aunque no existe certidumbre en cuanto a la magnitud y tampoco existe en relación con las posibles estrategias para el control de estas emisiones. Lo que ocurre en el Ártico es muy importante a escala regional y global.

El IPCC reconoció que hace 10 años que se han dado cambios que no afectan a futuros escenarios, sino que están ocurriendo en tiempo real, como la fusión de los glaciares, superficies de hielo marino y el permafrost³²⁷, y cambio en el régimen de lluvias, nevadas y crecimiento de los bosques y la tundra. Las consecuencias incluyen la disrupción de los patrones de migración de las especies animales de forma que se ven afectados los caladeros de pesca, se modifican las zonas agrícolas y aumentan los incendios forestales.

Algunas estimaciones sugieren que el BC ha podido ser responsable del 50% del calentamiento de 1,9° del Ártico desde 1890 (Shindell, 2009).

³²⁶ Report of the *Ad-hoc* Expert Group on Black Carbon. 22 September 2010

³²⁷ En geología, se denomina permafrost, o permacongelamiento a la capa de hielo permanentemente congelado en los niveles superficiales del suelo de las regiones muy frías como es la tundra. Puede encontrarse en áreas circumpolares de Canadá, Alaska, Siberia y Noruega.

Un reciente informe del Comité de Protección del Medio Ambiente de la OMI sugiere que las emisiones de BC por parte de la navegación en el Ártico, pueden incrementarse en un factor de 2 ó 3 para el 2050. Ya que el BC constituye entre el 5-15% de las emisiones de partículas por la navegación, este es un sector que debería prestar más atención a este tema.

Como resultado de todos estos cambios la subsistencia de algunas poblaciones indígenas mediante la caza y la pesca está en peligro, ya que tienen dificultades para alimentarse, se reduce la calidad de otros recursos y se ven obligados a trasladarse por la erosión de las zonas costeras y el deshielo del “permafrost”³²⁸. Es importante ser consciente de que estos cambios se están produciendo en tiempo real y que este ritmo de cambios no se había observado en los últimos cientos de años (Polyak *et al.*, 2010).

El impacto climático de los aerosoles (incluyendo el BC), no se limita a afectar a la temperatura. Incluye también cambios en el régimen de lluvias, supresión de la pluviosidad, reducción de la superficie de evaporación del agua, cambio en las propiedades de las nubes e incluso se crea una retroalimentación positiva que empeora los episodios de contaminación atmosférica. La forma en que actúa este elemento absorbiendo la luz solar, en la parte alta de la atmósfera, tiene también el efecto de limitar la cantidad de radiación solar que alcanza la superficie de la tierra, lo que se denomina “oscurecimiento”. El efecto de esto es la estabilización de la capa fronteriza que empeora los episodios de contaminación y afectando quizás a las lluvias. El oscurecimiento tiene un impacto negativo también en la agricultura (Ramnathan, 2008).

Hemos visto previamente los efectos para la salud de las partículas finas (PM_{2,5}). Por su parte, el BC es un contaminante primario asociado con efectos cardiovasculares y respiratorios. Sin embargo, ya que no se cree que ningún componente de las PM_{2,5}, de forma individual, sea el responsable de los efectos para la salud, no debe dejar de considerarse ninguno de ellos. Como el BC no se emite de forma aislada, sino como un componente de las PM, las estrategias de mitigación a menudo tendrán un efecto reductor del mismo, pero no siempre. Dependiendo de la fuente de emisión, el BC representará una

³²⁸ Permafrost: es la capa (...) *op.cit*

fracción más o menos grande de las PM emitidas directamente. La Evaluación Científica Integrada de la EPA (2009) concluyó que la relación de la mortalidad y los efectos cardiovasculares con exposiciones durante períodos de tiempo cortos y largos a las PM_{2,5} son causales (EPA, 2009).

3.4.3.3. Monóxido de Carbono (CO)

Es el contaminante típico de las grandes ciudades. Se origina principalmente por la combustión de los derivados del petróleo en automóviles y vehículos de transporte, a causa de una combustión pobre en oxígeno, que no transforma todo el carbono en CO₂. Se calcula que cada año se introducen en la atmósfera 200 Mt. de CO, siendo la mayor parte producida por los motores de combustión interna.

El CO es tóxico. La mala ventilación de recintos cerrados y sistemas de calefacción ineficientes es la responsable de numerosas tragedias domésticas a altas concentraciones de CO.

La EPA (1997) ratificó como norma de calidad del aire para CO un valor de 9 mg/L para un promedio de 8 horas. En un individuo promedio, este nivel de exposición se traduce en niveles de carboxihemoglobina (COHb) cercanos al 2% (Salort *et al.*, 2007). En Europa los niveles de CO están regulados en las normas Euro.

3.4.3.4. Posibles efectos adyuvantes de los alergen

El biodiesel reduce los peligros para la salud asociados con diesel de petróleo. Si bien las emisiones de biodiesel muestran niveles menores de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)³²⁹ y nitratos de hidrocarburos aromáticos policíclicos (nHAP), que han sido identificados como compuestos cancerígenos, no son despreciables los efectos que pueden provocar sobre la salud y el medio

³²⁹ Los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP) son una familia de hidrocarburos cuyas estructuras se caracterizan por la fusión de dos o más anillos de benceno. Están presentes en el medio ambiente en el aire (aerosoles), en el agua y en el suelo. Se originan en procesos de combustión, fundamentalmente, de combustibles fósiles (carbón, gasolina y petróleo).

ambiente. En pruebas sobre “efectos sobre la salud y uso de biodiesel”, los compuestos HAP se reducen del 75 al 85%, a excepción de benzo (un) antraceno, que se redujo aproximadamente el 50%. Los compuestos dirigidos de HAP se reducen también drásticamente con biodiesel, con 2-nitrofluoreno y 1-nitropireno reducido el 90%, y el resto de los compuestos de nHAP tienen una reducción de bajo nivel solamente.

El motor diesel y su infraestructura afecta a todos los aspectos del medio ambiente: tierra, agua y aire. Los gases de escape contienen los típicos productos de combustión como CO₂, H₂, O₂, vapor de agua, CO, compuestos orgánicos volátiles, alcalenos, HAP y SO_x, compuestos resultantes de una combustión incompleta. Las emisiones de hidrocarburos y de NO_x contribuyen a la formación de “smog” y de partículas.

Los vehículos diesel y la producción, almacenamiento y distribución de dicho combustible provocan impactos en el medio ambiente. Por ejemplo los hidrocarburos emitidos por los estanques, refinerías, cañerías, o por filtraciones a la tierra y a las capas subterráneas. Muchos de los productos químicos como metales pesados y HAP tienen una vida larga en el ambiente, debido a su elevado peso molecular. El mejor rendimiento de los motores diesel implica que emiten menos CO₂ que los motores a gasolina similares. Como el CO₂ es la principal causa del efecto invernadero los motores diesel se han presentado como una alternativa más eficiente energéticamente a los vehículos de gasolina. Sin embargo estudios recientes indican que las partículas tienen perversos efectos para la salud humana y el medio ambiente. En principio altera la cubierta de las nubes y las precipitaciones, lo que desluce mucho sus ventajas energéticas³³⁰.

Los impactos sobre la salud de las emisiones de los motores diesel son muy importantes ya que los hidrocarburos y las partículas han sido identificadas como sustancias tóxicas. Los HAP y dióxidos son los compuestos más tóxicos dentro de la combustión del petróleo y son abundantes en los gases de escape

³³⁰ Hoy en día es muy difícil explicar a los ciudadanos las repercusiones que entraña el elevado porcentaje de vehículos diesel en el parque automovilístico de nuestras ciudades, cuando durante muchos años se ha potenciado este combustible por motivos económicos y de eficiencia energética.

de estos motores, como los metales pesados, HAP, y dioxinas que pueden viajar transfronterizamente largas distancias como gases o aerosol, y son aparentemente resistentes a la degradación en partículas atmosféricas. Como resultado estos contaminantes se encuentran en altas concentraciones en zonas rurales.

El más importante de los efectos sobre la salud de las emisiones de los vehículos diesel es la capacidad de actuar como coadyuvante de las alergias, y por tanto facilitar el padecimiento del asma. A su vez la entrada de partículas en los bronquios está ligada al cáncer del pulmón. Se han llevado a cabo más de 30 estudios que probaron que, a exposiciones prolongadas a los gases de escape de un motor diesel, aumentaba el 40% el riesgo de contraer cáncer de pulmón. Pueden darse otros efectos como cambios estructurales en los cromosomas por mutaciones del ADN. En los últimos años, las mayores exigencias en cuanto a niveles de emisión y las mejoras realizadas a los sistemas de inyección y a la calidad del combustible han dado lugar a reducciones del 75% de NO_x y de partículas en países occidentales (Braun *et al.*, 2003).

Estudios epidemiológicos más recientes en humanos y en animales han puesto en evidencia que los contaminantes derivados de la combustión del diesel, partículas, NO_x y precursores de O₃ todos ellos dañinos para el pulmón humano, aumentan la inflamación de las vías respiratorias y pueden provocar ataques de asma y alergias (Salort *et al.*, 2007).

La naturaleza de las emisiones de motores diesel hace que sea difícil establecer unos valores de exposición. En muchas ocasiones se utiliza la exposición al tráfico como una medida de aproximación. Se ha comprobado el efecto de la contaminación producida por el tráfico, como coadyuvante de los efectos alérgicos que produce el polen del cedro (*Cedrus* sp.), ya que a igual población arbórea, los efectos eran superiores en los individuos que vivían cerca de una vía transitada en comparación con aquellos que vivían en una ruta menos concurrida. Los primeros además sufren mayor porcentaje de hospitalizaciones por asma, disminución en la función pulmonar, dificultad respiratoria y rinitis alérgica (Salort *et al.*, 2007).

Estudios de exposición controlada en voluntarios humanos expuestos a 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de partículas diesel durante 1 hora demostró un incremento en la cantidad de neutrófilos en la saliva y en las biopsias bronquiales. Otros estudios con exposiciones similares han mostrado el incremento de la reactividad a la metacolina, y la resistencia de la vía aérea de individuos con asma leve. Los modelos animales han sido útiles para estudiar los efectos a largo plazo de la exposición al diesel. El mecanismo por el cual los escapes diesel inducen estos efectos podrían estar relacionados con la producción y liberación de citoquinas pro-inflamatorias y quemocinas de las células del epitelio bronquial que regula la hiperactividad de la vía aérea. Muchos de estos efectos se podrían atribuir al agente químico que rodea al núcleo de carbón de las partículas diesel, más que al núcleo en sí mismo. El carbón elemental (carbón sin agentes químicos) no tiene efectos sobre las células epiteliales (Salort *et al.*, 2007).

3.4.4. Impacto ambiental y toxicológico de las nanopartículas

3.4.4.1. Nanomateriales y nanopartículas. Caracterización, división, estructura y mecanismos de acción.

Las nanopartículas son partículas que tienen una o más dimensiones en la escala de 100 nm o inferior, resultantes de procesos naturales (erosión e incendios, entre otros) o producidas de forma voluntaria mediante técnicas de nanotecnología³³¹.

³³¹ La nanotecnología se define como la ciencia aplicada en el diseño, fabricación y manipulación de la materia a escala atómica y molecular, en el rango de 1 a 100 nanómetros (1 metro = 1.000mm = 1.000.000 micras = 1.000.000.000 nanómetros). La CE en el documento COM (2009) 607 la define como: “la comprensión y control de la materia y los procesos a escala nanométrica, típica, aunque no exclusivamente, por debajo de los 100 nanómetros en una o más dimensiones, donde pueden empezar a aparecer fenómenos dependientes del tamaño y resultar posibles nuevas aplicaciones”. La definición más radical de la nanotecnología la presenta como una nueva ciencia que emerge del nexo entre la biología y la tecnología de la información y del conocimiento a escala nanométrica. La mayor novedad en el estudio y utilización de dispositivos o materiales basados en la nanotecnología, no reside únicamente en la miniaturización, mil veces mayor que la de los dispositivos utilizados en microelectrónica, sino en el cambio de propiedades físicas asociadas a la disminución de tamaño. En este régimen actúan las leyes de la física cuántica, que conllevan una cuantificación de los niveles de energía asociados a los electrones del material y, por tanto, a una variación en su comportamiento electrónico y óptico, entre otras propiedades. Además, la reducción de tamaño implica un aumento

El conocimiento actual de la ciencia en la escala nano deriva de múltiples disciplinas relacionadas con los conceptos atómico y molecular en química y física, más la incorporación de las ciencias de la semivida molecular, medicina e ingeniería. Se ha observado el comportamiento en el nivel atómico y molecular para conseguir controlar y modificar de manera selectiva las propiedades de partículas de materia todavía más pequeñas. Solamente en el último cuarto de siglo ha sido posible modificar activa e intencionadamente moléculas y estructuras en el rango de la nano escala. El control en este rango es lo que distingue la nanotecnología de otras áreas de la tecnología (Biel y Flores, 2006)

En la naturaleza hay muchos ejemplos de estructuras que existen en la escala nanométrica o nano-escala, incluyendo moléculas esenciales dentro del cuerpo humano, en los seres vivos y en el medio ambiente, pero solamente en los últimos 50 años ha sido posible modificar estas estructuras y trabajar en la nano-escala con un impacto muy significativo para la sociedad, especialmente en el sector industrial, sector de la información y comunicación, sector farmacéutico e incluso, se están ensayando para el control de la contaminación ambiental.

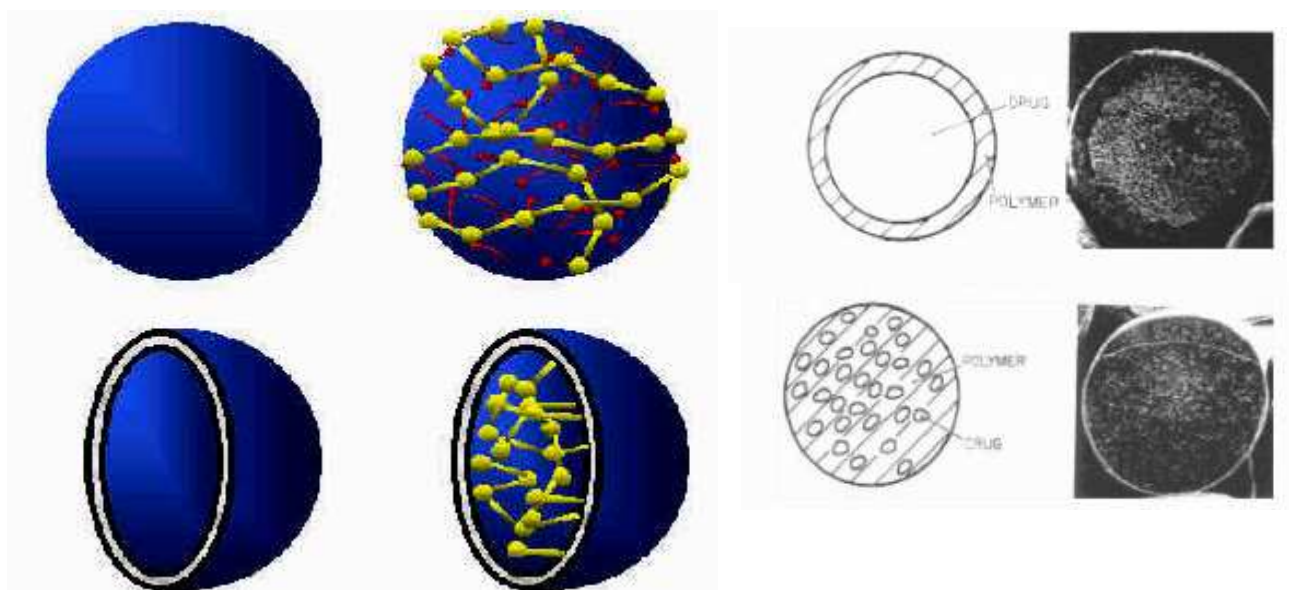
Las nanopartículas libres son partículas con un tamaño de entre 10 y 100 nm que pueden aparecer de forma natural, liberarse involuntariamente en procesos industriales o domésticos como el cocinado la fabricación y el transporte, o diseñarse específicamente para productos de consumo y tecnologías punta.

Las nanopartículas manufacturadas son partículas coloidales sólidas constituidas por polímeros naturales o sintéticos. Dependiendo del proceso seguido en su elaboración y la finalidad para la que se fabrican (distribución de fármacos y productos cosméticos) pueden obtenerse dos tipos de estructuras: (1) nanoesferas y (2) nanocápsulas. Las primeras tienen una

considerable de los átomos del material que residen en su superficie y que por lo tanto no tienen todos sus enlaces saturados, haciendo que un material en forma de nanopartículas sea más reactivo que el propio material masivo (Cremades, 2008).

estructura tipo matriz polimérica, en la que se encuentra dispersado el principio activo, mientras que las segundas poseen un núcleo de carácter oleoso, que contiene el fármaco o producto que se quiere distribuir, rodeado de una cubierta polimérica. Debido a la elevada superficie específica de estos sistemas la sustancia de interés también puede ser adsorbida en la superficie del sistema nanoparticular. De acuerdo con lo expuesto, en la Figura 11 se muestra la estructura general y la localización de la sustancia en cuestión en la nanopartícula.

Figura 11.- Diferentes formas farmacéuticas de nanopartículas: (A) esfera (sistema matricial) y (B) cápsula (sistema reservorio)



A- Sustancia activa distribuida uniformemente

B- Sustancia activa concentrada en el núcleo.

Fuente: Mantovani (2004)³³²

Las nanopartículas surgieron a finales de los años 70, como consecuencia de las dificultades encontradas con los liposomas que presentaban baja estabilidad y baja eficiencia en la incorporación de fármacos (Vila Jato, 2006).

³³² Mantovani. Monografía: Nanoesferas e a liberação controlada de fármacos. Disponible en <http://lqes.iqm.unicamp.br>

Las nanopartículas³³³ son productos con nuevas propiedades fisico-químicas, que hacen que contengan una gran variedad de aplicaciones.

Los nanomateriales son nanopartículas manufacturadas o fabricadas (Tabla 46) con un fin determinado, ya sea como vehículo de medicamentos, nuevo diseño de fármacos y productos cosméticos. En cualquier caso, las áreas de aplicación en las que los avances en la nanociencia están produciendo los mayores impactos son la ingeniería electrónica, la electroóptica y los instrumentos ópticos. La transición de la tecnología de los semiconductores (convencional y orgánica) a los instrumentos en la nanoescala ha mejorado las propiedades y la resolución. Igualmente los instrumentos de almacenamiento de datos basados en esta tecnología proporcionan unos sistemas mucho más rápidos y pequeños.

Tabla 46.- Principales tipos de nanomateriales

Liposomas
Polímeros
Nanopartículas de cerámica
Nanopartículas metálicas
Nanopartículas de oro
Nanomateriales de carbono (nanotubos)
Puntos cuánticos
Dendrímeros ³³⁴

En cuanto a la generación de las nanoestructuras, existen dos enfoques diferentes: (1) el del crecimiento y auto agregación “desde el fondo” que implica átomos y moléculas sencillas, y (2) el enfoque “de arriba a abajo” que implica poderosas técnicas de litografía y grabado que generan las nanoestructuras. Ambos enfoques tienen sus ventajas inherentes. El primero es muy útil para

³³³ Estas partículas nanométricas hasta la fecha no se consideran en términos de los estudios sobre la calidad del aire.

³³⁴ Macromolécula tridimensional de construcción arborescente

crear estructuras idénticas con precisión atómica, tales como entidades funcionales supramoleculares en organismos vivos. El segundo es más interesante por la posibilidad de interconexión e integración, como ocurre en los circuitos electrónicos (Oberdoster *et al.*, 2005).

En estado líquido, los nanomateriales se forman sobre todo mediante reacciones químicas controladas. Las nanopartículas libres aparecen por la erosión y la degradación química de plantas y suelos arcillosos, entre otros. Los procesos de desintegración proporcionan una ruta que solo conduce a nanopartículas suspendidas en la fase gaseosa bajo condiciones especiales.

En estado gaseoso, la principal ruta de “formación desde abajo”, tanto para las nanopartículas de origen natural como las fabricadas, son las reacciones químicas que transforman los gases en productos no volátiles, pequeñísimas gotas que se condensan y crecen. *Raramente se forman a partir de la descomposición de partículas mayores.* En la producción industrial, esto ha llegado a ser una ruta importante para los polvos de nanopartículas hechos de metales, óxidos, semiconductores, polímeros y diversas formas de carbono como tubos, agujas y plaquitas. Esta es asimismo la ruta inintencionada a través de la cual las nanopartículas se forman tras la oxidación de los precursores de la fase gaseosa en la atmósfera, en los penachos volcánicos y en los procesos de combustión natural u originada por el hombre (Oberdoster *et al.*, 2005).

Otra de las fuentes obvias de emisión de partículas ultrafinas y nanopartículas son los gases de escape de los coches. Tras diluirse en las grandes vías, pueden alcanzar altas concentraciones de hasta 10 M/cm³ (Kittelson, 1998).

Tanto en las zonas rurales como en las urbanas hay una cantidad curiosamente similar de nanopartículas, de 10⁶ a 10⁸ nanopartículas/ L de aire dependiendo de las condiciones. En las zonas rurales, la mayoría provienen de la oxidación de compuestos volátiles de origen biológico o antropogénico, incluyendo aerosoles orgánicos secundarios. En las zonas urbanas, *las nanopartículas provienen en su mayor parte de motores diésel*

(Scheneider *et al.*, 2005) o *automóviles con catalizadores estropeados o funcionando en frío*. Los procesos de foto-oxidación también las producen en un número importante. Las medidas en tiempo real muestran que la concentración de aerosoles va de 10^4 a 10^6 partículas/cm³, siendo la mayoría de las partículas presentes inferiores a 50 nm de diámetro. La mayor concentración de partículas de menor tamaño se asocia con el tráfico rodado de alta velocidad, probablemente debido a las condiciones particulares posteriores de enfriamiento y dilución en los gases. La concienciación de que los procesos de combustión contribuyen significativamente a la carga de nanopartículas, ha proporcionado un nuevo motivo para reforzar la investigación de las partículas aéreas (Donaldson *et al.*, 2001).

La exposición a las nanopartículas tanto en entornos cerrados como en el ambiente puede plantear un riesgo potencial para la salud ya que las propiedades de la materia dependen de la estructura y de la composición³³⁵.

Puesto que estos fenómenos tienen lugar en la nanoescala pueden ser muy diferentes de lo que ocurre a mayores dimensiones. Este hecho puede aprovecharse en beneficio de la sociedad, pero también estos procesos pueden exponer a los seres humanos y al medio ambiente a *nuevos riesgos que posiblemente implican unos mecanismos de interferencia con la fisiología humana y ambiental bastante diferentes*. Posiblemente estarían asociados al destino de las nanopartículas libres que se generan en los procesos nanotecnológicos y liberadas de forma intencional o accidental en el medio ambiente, o introducidas en los individuos a través de los productos que contienen las nanopartículas.

Hasta la fecha, la evolución de los seres humanos ha desarrollado mecanismos de protección frente a agentes ambientales, vivos o muertos, que estaban estrechamente relacionados con la naturaleza del agente, en los que el tamaño es un factor importante. Siempre se han producido fenómenos naturales como fuegos y volcanes que han dado lugar a la formación de nanopartículas en el ambiente. Parece que hasta la fecha no se ha detectado

³³⁵ http://ec.europa.eu/health/ph_risk/popularizing/popularizing_results_es.htm

un riesgo intrínseco para la población asociado con la nanoescala, por lo que no habría razón para pensar que los procesos de autoagregación sí que lo vayan a tener. El problema asociado a la evaluación del riesgo es que hoy en día el nivel de exposición a las nanopartículas es mucho mayor para los seres humanos y el ambiente. Estas connotaciones, que no se habían dado hasta la fecha, suponen un reto para los mecanismos de defensa asociados con el sistema inmune y el proceso inflamatorio porque no se sabe qué nuevas rutas de exposición pueden aparecer.

Es posible identificar un impacto ambiental de los productos de la nanotecnología relacionado con los procesos de dispersión y persistencia de estas diminutas partículas en el medio ambiente. Esto implica que necesitamos *llevar a cabo un profundo análisis de la naturaleza del riesgo* que, evidentemente, sería muy útil en la gestión posterior del mismo. Numerosas instituciones nacionales, internacionales e individuos (ASIA PACIFIC NANOTECHNOLOGY FORUM (2005), EC (2004), US NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY COUNCIL (2004), IEEE (2004), US NATIONAL INSTITUTE OF ENVIRONMENTAL HEALTH SCIENCES (2004), AUSTRALIAN ACADEMY OF SCIENCES (2005), UK ROYAL SOCIETY AND ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING (2004), y Oberdörster et al., (2005) han coincidido en este aspecto (SCENIHR, 2005).

La colisión entre las nanopartículas entre sí o con los aerosoles existentes en el ambiente, se ha identificado como el mecanismo más importante que dirige el cambio en el tamaño y concentración de las partículas. Se ha formulado un modelo sobre la base de los conocidos principios de la dinámica de los aerosoles, para predecir la evolución de la concentración del número de nanopartículas para una fuente de emisión determinada y en un ambiente definido. Más allá del cambio físico, la aparición de aglomerados binarios, constituye un cambio en la composición química del aerosol. Este cambio se produce por coagulación homogéneamente dentro de la misma clase de tamaño y heterogéneamente por la interacción con el aerosol de fondo. Se ha demostrado que las nanopartículas están todavía químicamente presentes en el aerosol tras su unión a las partículas de fondo, permaneciendo en el aire

mientras que son invisibles en la distribución del tamaño (Seipenbusch *et al.*, 2008).

3.4.4.2. Dificultades relacionadas con la evaluación toxicológica de las nanopartículas

Actualmente no existen directrices específicas sobre nanotecnología y nanomateriales, en espera de un mayor conocimiento científico de sus efectos sobre la salud pública, pero se encuentran entre las sustancias incluidas en el Reglamento REACH³³⁶ (Gutierrez-Praena *et al.*, 2009).

Cuando las sustancias químicas toman la forma de nanopartículas adquieren propiedades que pueden ser muy diferentes a las que tienen en su tamaño convencional y pueden difundirse e interactuar de forma diferente en los sistemas biológicos. Es preciso por tanto evaluar los riesgos que se derivan de las nanopartículas que puedan entrar en contacto con el hombre, con otros seres vivos o con el medio ambiente, aunque se conozcan ampliamente los efectos perjudiciales de las sustancias químicas que forman la nanopartícula.

En sus aplicaciones médicas, las nanopartículas se emplean como vehículo para que los fármacos lleguen en mayor cantidad a las células diana, para disminuir los efectos secundarios o adversos del fármaco en otros órganos o para ambas cosas. Sin embargo, en ocasiones no es fácil diferenciar la toxicidad del fármaco de la toxicidad de la nanopartícula.

Como se ha señalado, las nanopartículas pueden constituir también un riesgo para el consumidor por su posibilidad de incorporación a los alimentos a través de la cadena alimentaria³³⁷

³³⁶ Reglamento (CE) n° 1907/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de diciembre de 2006, relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y preparados químicos (REACH), por el que se crea la Agencia Europea de Sustancias y Preparados Químicos (ECHA). Publicado en el DO. L 296/1 de 30.12.2006, pp.3-279.

³³⁷ Ver Díaz Peralta, P.: Nanotecnología: En Tratado de Derecho Alimentario. Thomson Aranzadi, 2011: En relación a la presencia de nanopartículas como contaminantes indeseables, "(...) se ha señalado también el denominado efecto "caballo de Troya" que presentan nanoestructuras y nanocompuestos y que es la capacidad de vehicular residuos catalíticos de los procesos de síntesis y otros contaminantes incorporados accidentalmente en los procesos industriales, a través de su estructura."

Cuando se trata de nanopartículas de sustancias químicas conocidas, la evaluación del riesgo precisa disponer de un método de detección que determine si pueden provocar efectos perjudiciales diferentes a los de la misma sustancia química en su tamaño convencional. No es posible por el momento establecer conclusiones generales sobre el riesgo que puedan aplicarse a todos los productos que incorporan nanopartículas. Por lo tanto, cada producto y cada proceso deberán examinarse caso por caso. En aquellos en los que no se dispone de información suficiente sobre el riesgo, se deberá prestar especial atención a las nanopartículas con mayor probabilidad de permanecer en el cuerpo humano o dentro de otras especies (SCENIHR, 2005).

Las propiedades físico-químicas de una materia condicionan el desarrollo de las nanopartículas y a su vez determinan su toxicidad en los organismos vivos. Así, *la toxicidad de las partículas depende, entre otros factores, de su persistencia en los órganos en los que se depositan*, de si el hospedador puede provocar una respuesta biológica para eliminar estos sistemas, de su forma, tipo de material, pureza, carga eléctrica, dosis, vía de administración, concentración en el órgano diana y duración de la acción (Gutierrez-Praena, 2009).

En cuanto a la dosis, el área de la superficie de la nanopartículas puede ser un buen parámetro dado que las membranas celulares y las estructuras subcelulares interaccionan con la superficie de las partículas sólidas más que con su masa, lo que origina una respuesta biológico-toxicológica (Oberdorster *et al.*, 2005).

Los mecanismos de toxicidad para la mayoría de las nanopartículas todavía se desconocen. Se sospecha que pueden provocar la disrupción de membranas o del potencial de membrana, la oxidación de proteínas, genotoxicidad, interrupción en la transmisión de energía, formación de especies reactivas de oxígeno y liberación de componentes tóxicos (Klaine *et al.*, 2008). Otro mecanismo implicado en la patogenicidad que se ha descrito para nanopartículas manufacturadas es la inducción de reacciones inflamatorias (Pulskamp *et al.*, 2007). Ya que las partículas ultrafinas ambientales han demostrado producir inflamación pulmonar, Hinds (1999) y Stone y

Donaldson (2006), sugieren *la inducción de estrés oxidativo como el indicador adecuado para determinar los efectos adversos* de las distintas nanopartículas a nivel celular y molecular. La disminución del glutatión puede ser un indicador del stress oxidativo y la disminución de la peroxidación lipídica observada en peces, tras exposición a nanopartículas de C60 puede ser indicativa de reparación tisular. Las enzimas responsables de esta actividad se encuentran hiperexpresadas en el hígado, lo que apoya esta hipótesis. Lo mismo ocurre con los genes responsables de la respuesta inflamatoria (el factor estimulante de los macrófagos y las proteínas inmunosupresivas).

Hay ciertos grupos de organismos que son un objetivo diana para las nanopartículas como el micro-zooplankton y los grandes filtradores. Ambos pueden filtrar partículas dependiendo de su tamaño y de las sustancias químicas de la superficie (Oberdorster *et al.*, 2005). Cuando hablamos de seguridad, hay que tener en cuenta la posibilidad de que estos invertebrados, que consumen nanopartículas, las movilicen por la cadena trófica, incluyendo a los seres humanos.

Muchos invertebrados bentónicos y del suelo se especializan en ingerir sedimentos y extraer la materia orgánica de modo que los productos químicos de las nanopartículas podrían llegar a los sedimentos. Otro gran grupo diana son los organismos que contienen clorofila. Se están produciendo células solares más eficientes basándose en los electrones que dona la clorofila sintética a los fulerenos³³⁸ de una pasta de carbón. Se desconoce si la clorofila natural también podría hacerlo, lo que implicaría que los fulerenos podrían disminuir la capacidad de los organismos de almacenar la energía (Oberdorster *et al.*, 2005).

3.4.4.3. Impacto sobre la salud pública

La exposición humana a nanopartículas puede tener lugar a través del agua, el aire y los alimentos, entre otros, por lo que las vías oral, inhalatoria y cutánea son las más relevantes.

³³⁸ 3ª forma más estable del carbono, tras el diamante y el grafito. Se presentan en forma de esferas, elipsoides o cilindros.

Vía oral

La ingestión de comida y agua contaminada, las partículas inhaladas o la transferencia mano-boca son algunas de las situaciones que favorecen la entrada de las nanopartículas por vía oral. Los alimentos preparados que las contienen o indirectamente, a través de los embalajes (nanopartículas de plata por sus propiedades antimicrobianas y de barrera) también son elementos de exposición. Dentro de esta no se contabilizan las aplicaciones farmacéuticas a base de nanopartículas que favorecen la biodisponibilidad de medicamentos.

Habitualmente no se controla su nivel en las aguas naturales ni en las redes de suministro. De hecho incluso en las plantas de tratamiento de aguas residuales se utilizan nanomateriales para eliminar contaminantes químicos y bacterias de los suministros de agua.

Vía inhalatoria

En el aire se encuentran nanopartículas de origen natural y las que se derivan de actividades humanas. El hombre, por tanto, está expuesto de manera simultánea a una variedad de materiales de distinto tamaño. Actualmente no se dispone de información sobre el nivel de partículas artificiales en el aire. Por los estudios epidemiológicos que se han realizado desde hace décadas, sabemos que existe una clara relación entre las partículas ultrafinas y las enfermedades respiratorias que provocan inflamación, tos, estertores y que tienen un potencial carcinogénico (Handy y Shaw, 2007). Además, el aumento de estas partículas en la atmósfera se ha asociado con efectos adversos cardiovasculares en los individuos más susceptibles como ancianos y pacientes con patologías previas (Ibald-Mulli *et al.*, 2002)

Cuando se inhalan las nanopartículas, se ponen en marcha mecanismos de defensa como la fagocitosis por parte de los macrófagos, aunque parece ser que el proceso con partículas inferiores a 100 nm de diámetro es menos efectivo que con partículas de mayor tamaño.

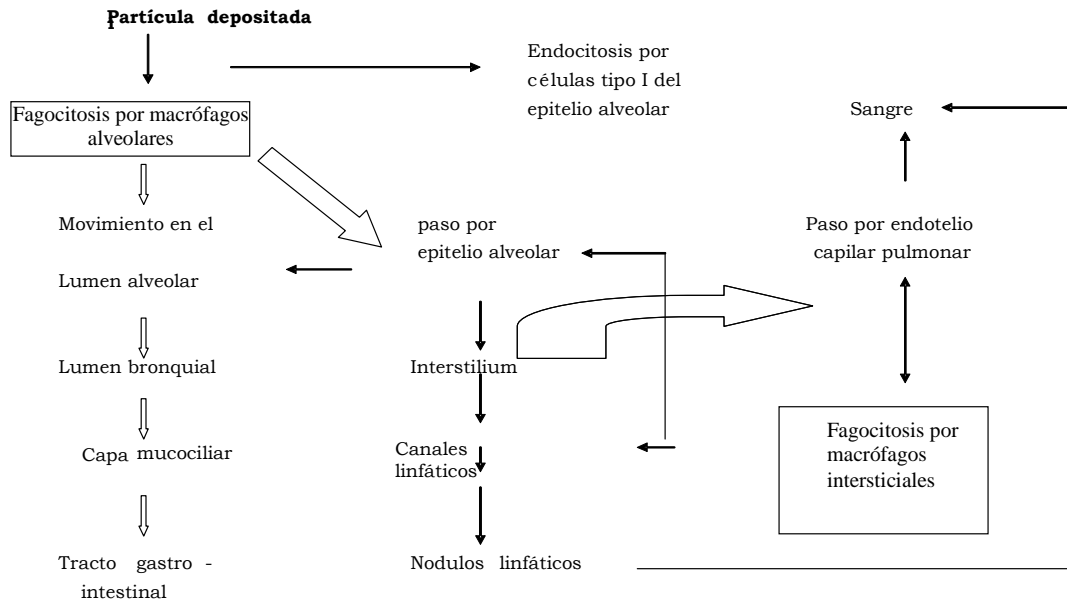
La mucosa nasal y la región traqueobronquial disponen de células ciliadas para transportar el mucus hacia la faringe. Este es un mecanismo muy efectivo para retirar las partículas sólidas en el plazo de 24 horas.

Probablemente opera también para las partículas ultrafinas (Oberdorster *et al.*, 2005). Sin embargo, algunos estudios han demostrado que a veces pueden quedar retenidas por la disminución de la tensión superficial. Se conoce además la implicación de diferentes receptores de superficie para la fagocitosis de las partículas por los macrófagos alveolares y la liberación de citoquinas y quemocinas. Los estudios con macrófagos alveolares han puesto en evidencia que las nanopartículas no son eficientemente fagocitadas por los mismos, frente a lo que ocurre con las de mayor tamaño. Esto puede deberse a la incapacidad de los macrófagos de fagocitar las nanopartículas o porque estas no pueden desencadenar la señal de liberación en el lugar donde se depositan. Los estudios realizados en relación con el primer supuesto, han demostrado que el tamaño óptimo es de 1-3 μm y que por debajo de este el porcentaje de fagocitosis disminuye progresivamente (Green *et al.*, 1998). En los estudios realizados *in vitro*, los macrófagos alveolares sí que son capaces de fagocitar las nanopartículas (Donaldson *et al.*, 2002).

La translocación intersticial constituye una ruta para aquellas partículas no fagocitadas por los macrófagos, bien por su pequeño tamaño, como ocurre con las nanopartículas, o por la sobrecarga de capacidad de fagocitosis. Una vez en los intersticios, puede tener lugar la translocación a los nódulos linfáticos de las partículas libres o de aquellas recogidas por los macrófagos. Algunas nanopartículas manufacturadas han demostrado comportarse como antígenos (Oberdorster *et al.*, 2005), aumentando la posibilidad de la respuesta inmune humoral tras la exposición a las mismas. Se desconoce si otras manifiestan ese comportamiento.

Algunas nanopartículas después de acumularse en los nódulos linfáticos entran en el torrente sanguíneo. Este mecanismo se demostró con partículas fibrosas. Algunos estudios recientes en perros, ratas y con seres humanos han demostrado también la rápida translocación de partículas de carbono radio-marcadas con tecnecio (Gráfico 20), que tras ser inhaladas, pasaron al torrente sanguíneo y al hígado (Nemmar *et al.*, 2002). En cualquier caso no puede aseverarse que sea el destino habitual.

Gráfico 20.- Diagrama de la ruta de partículas insolubles depositadas en la región pulmonar



Fuente: McClellan *et al.* (1998)

Una vez que se encuentran en vía sanguínea o linfática, pueden alcanzar diferentes órganos como huesos, riñones, páncreas, bazo, hígado y corazón en los que pueden ejercer sus efectos tóxicos. Esta capacidad en realidad es lo que se utiliza para introducir nuevos fármacos a través de ensayos cinéticos. La toxicidad depende de su persistencia en los órganos y de la respuesta del hospedador. Los mecanismos de toxicidad no se conocen con exactitud, aunque parece que producen lesión en las membranas celulares, oxidación de proteínas, genotoxicidad³³⁹, formación de especies reactivas de oxígeno e inflamación (SCENIHR, 2005).

³³⁹ Capacidad de algunos elementos (físicos, químicos o biológicos) de producir alteración en el material genético por cambios en el ADN o en las estructuras intracelulares vinculadas al funcionamiento o propiedades de los cromosomas.

Oberdorster y colaboradores (2002) consideraron que el paso a la sangre puede ocurrir una vez que alcanzan los vasos linfáticos.

Vía cutánea

Las nanopartículas que están en el aire también pueden afectar al hombre por vía cutánea, sobre todo en ambientes laborales o a través de los cosméticos y cremas solares que las contienen. En estudios realizados *in vivo*³⁴⁰ e *in vitro* se ha intentado determinar su posible absorción a través de la piel. Se ha encontrado que algunas de ellas no pueden atravesar el estrato córneo pero pueden acumularse en los folículos pilosos (Nohynek *et al.*, 2007). En general, la piel sana es una barrera bastante efectiva para algunos nanomateriales (Stern y McNeil, 2008).

Efecto de las nanopartículas sobre la salud

Habitualmente se analizan por separado las nanopartículas inorgánicas de las orgánicas, y las diferentes vías de entrada antes mencionadas. En los últimos años se está estudiando en profundidad la toxicocinética en las diferentes fases: absorción, distribución, metabolismo y excreción.

Los tejidos y fluidos del organismo en contacto con las nanopartículas las absorben rápidamente. A veces tienen dimensiones similares a ciertas moléculas biológicas e interactúan con ellas. Las biomoléculas generalmente son grandes cadenas macromoleculares plegadas con capacidad de formar enlaces laterales y esto mismo puede ocurrir con las nanopartículas. Pueden mostrar afinidad por una proteína particular de la superficie y unirse a la membrana o a un orgánulo o a una célula. Esta especificidad se utiliza también para análisis o para el marcado óptico de moléculas biológicas.

La interacción con los sistemas vivos también se ve afectada por sus dimensiones. Una vez dentro del organismo, aparte de poder adsorber en su superficie moléculas que encuentran en su camino, se comportarán de diferente forma según su tamaño. Las nanopartículas de unos pocos nanómetros pueden entrar en las biomoléculas y atravesar las membranas

³⁴⁰ Stearns *et al.*,(1994) encontraron que las nanopartículas pueden penetrar por las células epiteliales.

celulares. Pasan a la sangre y de allí a órganos como el hígado o el corazón. (Oberdorster *et al.*, 2002). Las nanopartículas solubles se disuelven y sus efectos sobre el organismo son los que produzcan sus componentes químicos, pero las insolubles pueden acumularse y permanecer en el cuerpo durante largos periodos de tiempo. Su interacción con los sistemas vivos depende también de la “dosis” en que se encuentran.

Los parámetros más importantes a la hora de determinar su efecto sobre la salud son su tamaño (cuanto más pequeñas sean, mayor peligro comportan), la composición química, la superficie y la forma.

Para entender y categorizar los mecanismos de toxicidad se necesita información sobre la respuesta de los seres vivos a la presencia de las nanopartículas de diferentes tamaños, formas, superficies y composición química, así como sobre el destino de las que están sujetas a procesos de translocación y degradación. Es muy relevante también conocer la ruta dentro del organismo o la célula, es decir la difusión o el transporte intracelular activo. Hasta la fecha se sabe poco sobre este tema, a excepción de las partículas que se encuentran en suspensión en el aire que llega a los pulmones.

A la hora de evaluar los efectos de las nanopartículas sobre la salud debería tenerse en cuenta que la edad, los problemas respiratorios y la confluencia de otros contaminantes pueden influir en algunos de los efectos sobre la salud, como ya se conoce por estudios con partículas de mayor tamaño.

Los estudios realizados con modelos animales han puesto en evidencia que las células epiteliales del intestino delgado pueden absorber nanopartículas de tamaño inferior a los 200 nm (Jani *et al.*, 1990).

Efecto de las nanopartículas sobre el medio ambiente

No se dispone todavía de estudios concluyentes aunque se cree que los efectos observados sobre los seres humanos podrían extrapolarse a otras especies. Antes de dictar directrices para la evaluación del riesgo hay que profundizar en las lagunas del conocimiento que existen al respecto. La identificación y la

resolución de estas lagunas de conocimiento requieren cooperación internacional y colaboración con la industria.³⁴¹

A continuación se presenta un resumen de los elementos más importantes en relación a la interacción de las nanopartículas con los organismos vivos:

1.- Translocación: Las nanopartículas son capaces de alcanzar zonas del organismo no accesibles para partículas de mayor tamaño. Esto implica que tienen mayores posibilidades de atravesar las barreras celulares, pasar al sistema circulatorio y distribuirse posteriormente a otros órganos, incluido el cerebro tras la inhalación desde las vías respiratorias superiores.

2.- Las nanopartículas tienen un área superficial superior que partículas más grandes con igual masa. Puesto que la toxicidad de las partículas insolubles no está relacionada con su masa sino con el área superficial de las mismas, las nanopartículas serían potencialmente más tóxicas.

3.- La solubilidad de determinados materiales se incrementa cuando se pasa a la nanoescala. Este efecto implica una mayor biodisponibilidad de los nanomateriales, frente a sus homólogos en la escala “macro”. Provocan mayor preocupación aquellas nanopartículas de baja solubilidad que puedan acumularse en los sistemas biológicos y persistir en los mismos por largos periodos de tiempo.

4.- Puesto que las nanopartículas presentan propiedades fisico-químicas diferentes a las de las mismas partículas de mayor tamaño, probablemente esto vaya acompañado también de *nuevas propiedades toxicológicas*.

5.- Las nanopartículas que presentan una estructura fibrosa (amianto), tiene más posibilidades de persistir y acumularse en los pulmones y provocar inflamación o incluso potenciales efectos cancerígenos. Un estudio reciente (Oberdoster *et al.*, 2005) sugiere que los nanotubos de carbono pueden ser tan peligrosos como las fibras de amianto si se inhalan en cantidades suficientes.

³⁴¹ http://ec.europa.eu/health/ph_risk/popularizing/popularizing_results_es.htm

Podría ser peligrosa asimismo su posible entrada a través de la piel o por ingestión.

La falta de estudios toxicológicos y el aumento de la utilización cada vez más frecuente de los nanomateriales, precisa que se desarrollen protocolos de evaluación de posibles riesgos asociados y de estrategias de gestión y prevención de los mismos (Jiménez, 2008).

Actualmente, no es posible determinar con certeza el riesgo potencial para el hombre de los diferentes tipos de nanopartículas. Por la experiencia adquirida en materia de riesgos, esto implica que *lo más adecuado es por tanto adoptar el Principio de Precaución o de Cautela*. En su declaración³⁴² ante el Senado americano en 2010 el Dr. Clarence DAVIES, autor de un informe (Davies, 2007) especializado sobre este tema, pidió expresamente a las Autoridades en EE.UU. el desarrollo de normativa sobre el uso de los nanomateriales por considerar que las normas actuales sobre la salud y el medioambiente no son válidas para las nanopartículas. El primer error es que parten del supuesto de que existe relación directa entre el volumen del material y el nivel de riesgo, lo que no es aplicable en estos casos y por tanto no se protege adecuadamente la salud de los trabajadores. Tampoco los consumidores están protegidos adecuadamente frente al riesgo de numerosos productos que ya existen en el mercado, que contienen nanopartículas como cosméticos, cremas, desodorantes y productos de limpieza, entre otros, y que tienen un alto potencial de absorción por vía cutánea, inhalación y digestiva (Narocki, 2006).

En la actualidad se considera que si no hay información sobre el riesgo químico, éste no existe. Puesto que en este caso, este supuesto no es válido, hay que incentivar de alguna manera la generación de datos científicos.

Investigaciones realizadas por la empresa EMTECH RESEARCH (2006) identificaron unos 80 productos nanotecnológicos de consumo directo en el mercado, y unos 600 más son materias primas, productos intermedios y equipamiento industrial en cuya elaboración interviene la nanotecnología. Ya se conoce algún caso como el ocurrido en Alemania en 2006 en que casi un

³⁴² Disponible en <http://www.rff.org/Documents/davies-senate-nanotech-testimony.pdf>

centenar de personas fueron tratadas por problemas respiratorios y edemas pulmonares causados por dos productos de limpieza con nanopartículas que fueron retirados del mercado (Narocki, 2006).

En relación con su posible toxicidad, la información de que se dispone procede de los estudios sobre inhalación de nanopartículas (Oberdorster *et al.*, 2005) Los criterios más importantes para su estudio son: el tamaño, la composición química y la forma.

Tamaño: La reducción en el tamaño da lugar a un incremento importante del binomio superficie/volumen, de modo que a media que existen más moléculas del producto químico, en la superficie aumenta la toxicidad intrínseca. Esta puede ser la explicación de que las partículas menores sean más tóxicas.

Composición química: Está muy relacionada con su posible toxicidad. Por ejemplo, el carbón elemental ha demostrado provocar un efecto más severo que el dióxido de titanio, mientras que las nanopartículas de ambos compuestos producen reacción inflamatoria del pulmón y daño epitelial en ensayos con ratas de una forma más importante que sus partículas de mayor tamaño. Es decir, los productos químicos absorbidos en la superficie pueden afectar a la reactividad de las nanopartículas. Fracciones aisladas de contaminantes particulados han demostrado que producen *in vitro* efectos tóxicos. Las nanopartículas en el ambiente pueden tener una composición muy compleja y sus compuestos, productos orgánicos o metales, pueden interaccionar. De hecho el hierro metálico puede amplificar el efecto del carbón elemental y producir estrés oxidativo (Wilson *et al.*, 2002).

Forma: Aunque existe poca información, parece ser un factor relevante. Las fibras son un ejemplo relevante de este debate, especialmente en relación con la inhalación donde los parámetros físicos de longitud y grosor determinan su potencial respirabilidad y efecto inflamatorio. Se conoce bien el efecto carcinógeno de las fibras de amianto preferentemente, pero recientemente se ha descubierto que los nanotubos de carbono de pared sencilla pueden producir granulomas, tras administración intratraqueal, pero en general, los estudios epidemiológicos de contaminación atmosférica no han demostrado

que las nanopartículas sean más peligrosas que las partículas de mayor tamaño.

3.4.4.4. Criterios para evaluar la calidad del aire en función de las nanopartículas

Se sabe que las partículas que existen en el ambiente, principalmente a causa del tráfico de vehículos, afectan a la salud humana, aunque no ha sido posible descifrar exactamente cómo. Los estudios epidemiológicos sobre contaminación del aire no han sido concluyentes para afirmar que las nanopartículas son más dañinas que las partículas de mayor tamaño. Lo que sí es cierto es que las nanopartículas, por su menor tamaño, tienen más posibilidades de distribuirse más fácilmente dentro del organismo y alcanzar órganos diana como el hígado o el cerebro, a través del nervio olfativo, e incluso pasar al feto en las mujeres embarazadas.

La cooperación internacional en esta área es importante. La CE participa activamente en los trabajos que actualmente se desarrollan en el Grupo de trabajo sobre nanomateriales fabricados (WPMN) de la OCDE, que elabora métodos de ensayo y Directrices para la evaluación del riesgo. Además, el trabajo de normalización de la ISO facilitará la convergencia mundial de las normas para la aplicación de la reglamentación.

Los Comités Científicos independientes de la UE han emitido 6 opiniones en los cinco últimos años en relación con la evaluación de los riesgos de los nanomateriales. Teniendo presente que es aún mucho lo que se desconoce, los dictámenes insisten en la necesidad de evaluar los riesgos potenciales de los nanomateriales “caso por caso” y de formular recomendaciones sobre nuevas investigaciones en relación con la seguridad. El Comité ha puesto en evidencia que precisamos de nuevos métodos de medida para evaluar el riesgo potencial de las nanopartículas³⁴³.

³⁴³ Los métodos actuales son adecuados para evaluar muchos de los riesgos derivados de los productos y procesos que incorporan nanopartículas. Sin embargo, es posible que no sean suficientes para cubrir todos los riesgos. De hecho, los métodos empleados en la actualidad para evaluar la exposición medioambiental no son los más adecuados. Por lo tanto, es

No existe consenso sobre cuáles son los parámetros más adecuados para medir y evaluar la exposición. Tampoco existe instrumental portátil para medir la exposición a las nanopartículas. Es necesario, además, desarrollar nuevas técnicas de muestreo y estrategias para evaluar la exposición en el lugar de trabajo y en el entorno (Jimenez, 2008).

Detección y medida

La detección de las nanopartículas y el estudio de las propiedades específicas asociadas con ellas, son importantes por dos motivos fundamentales:

(1) es preciso disponer de métodos fiables que las detecten y (2) medir sus propiedades físico-químicas en los elementos del medio, tales como el aire, el agua, el suelo y los alimentos, en el que están expuestos los seres humanos. Evidentemente estos métodos son un apoyo para los estudios toxicológicos y ecotoxicológicos para lo que debería ser posible detectarlas en células, fluidos y tejidos vegetales.

Este conocimiento de las propiedades físico-químicas es la base de la detección de las partículas en el medio. El rango de propiedades de las nanopartículas que tienen una relevancia potencial para la evaluación del riesgo pone de manifiesto la necesidad de métodos extremadamente sensibles. Como las nanopartículas están por debajo del límite de difracción de la luz visible, no es válida la microscopía óptica. Por el contrario, su composición química sí que es detectable por métodos clásicos e incluso hoy en día se puede detectar hasta el material de la cubierta.

necesario cambiar los procedimientos actuales de evaluación de riesgo en el caso de las nanopartículas.

Deberían crearse nuevas metodologías o adaptar las actuales para que consigan determinar las propiedades físicas y químicas de las nanopartículas, medir la exposición a éstas, evaluar el riesgo potencial y detectar sus desplazamientos dentro de sistemas vivos, tanto en tejidos humanos como en el medio ambiente.

Por lo general, y a pesar de la rápida proliferación de publicaciones científicas que tratan sobre nanociencia y nanotecnología, todavía se necesitan más datos y conocimiento sobre las características de las nanopartículas, su detección y medición, su comportamiento en sistemas vivos y todo tipo de cuestiones relacionadas con sus potenciales efectos perjudiciales sobre el hombre y el medio ambiente, y estas lagunas impiden que se pueda llevar a cabo una adecuada evaluación del riesgo para el hombre y los ecosistemas. Disponible en http://ec.europa.eu/nanotechnology/index_en.html.

La detección en una suspensión de gases como es la atmósfera, ha cobrado recientemente interés por los estudios del clima y la salud. Un estudio del Health and Safety Executive del Reino Unido (2004) ha recogido todos los métodos disponibles para obtener información sobre los aerosoles en la nanoescala. Así se ha visto que las partículas se pueden contar mediante contadores de condensación de núcleos en los que se activan las partículas a gotitas en una atmósfera sobresaturada de alcohol que las hace detectables ópticamente. Los instrumentos actuales llegan a detectar hasta un tamaño de 3 nm.

Otra posibilidad es la espectrometría de masas en que se vaporizan las partículas y los iones resultantes que se analizan en el espectrómetro.

Desde el punto de vista de la Reglamentación, existen varias necesidades urgentes:

- es necesario incrementar y consolidar la financiación de la investigación, para seguir el ritmo del desarrollo y la comercialización de nuevas aplicaciones.
- para obtener datos pertinentes, es preciso reajustar, validar y armonizar para los nanomateriales los métodos de evaluación del riesgo disponibles actualmente.
- en particular, es preciso mejorar, desarrollar y validar los métodos utilizados en la detección, caracterización, evaluación de la exposición, la determinación de peligros, la evaluación del ciclo de vida y la simulación; a tal efecto, será necesario también investigar sobre los aspectos fundamentales de la interacción de los nanomateriales con los organismos vivos.
- hacen falta nanomateriales de referencia adecuados para el desarrollo y la validación de métodos, así como asegurar la calidad.

Para la evaluación del riesgo, hay que asumir que en ausencia de datos que digan lo contrario, no se puede asumir que un producto químico en la nanoescala tenga similares efectos sobre los sistemas biológicos que los que produce en otra escala. Para mantener un alto nivel de protección de la salud pública y del medio ambiente, es esencial llevar a cabo una evaluación de riesgo específica.

A pesar de la gran cantidad de publicaciones científicas sobre esta materia en los últimos tiempos, sigue existiendo un vacío de conocimiento sobre la caracterización de las nanopartículas, su detección y medida, su destino y sobre todos los aspectos de la toxicología y ecotoxicología, como para realizar una evaluación adecuada. Si bien todas las áreas necesitan que se destinen recursos, el aspecto al que se debería dar prioridad actualmente es la identificación de los niveles de exposición para el hombre y para el medio ambiente que requiere nuevas técnicas de medición.

Los vacíos de información más acusados se refieren a los siguientes aspectos:

- Hay que establecer protocolos que diferencien el amplio rango de procesos que existen para producir nanopartículas.
- Siempre que sea posible, debe extrapolarse de la toxicología de fibras, partículas y otras estructuras de la misma sustancia, cuando se analizan las nanopartículas.
- Información y medición del destino ambiental, distribución y persistencia, incluyendo la bioacumulación, de las nanopartículas.
- Efectos de las nanopartículas sobre diferentes especies de cada uno de los compartimentos ambientales que sean representativos de los diferentes niveles tróficos y las distintas rutas de exposición.
- Falta información de base sobre la exposición actual e histórica de seres humanos y del medio ambiente a las nanopartículas. Esta información es muy importante para una evaluación de riesgo adicional.
- No existe información sobre la posibilidad de que una exposición simultánea a diferentes nanopartículas pueda tener un efecto sumatorio.

3.5. PROMOCIÓN DE LA *Jatropha curcas* L. EN PAÍSES EN DESARROLLO.

3.5.1. Aspectos positivos y negativos de la promoción de los biocombustibles.

El sector energético constituye un área prioritaria para todas las naciones puesto que el consumo de energía está íntimamente ligado al desarrollo económico de la humanidad. Sin embargo, el incremento del coste del petróleo y la certeza de la condición finita de las reservas de combustibles fósiles, ha hecho que aumente enormemente el interés mundial en las energías renovables³⁴⁴.

La AIE considera que la sostenibilidad de la economía moderna se basa en parte en la capacidad de los países para asegurar su aporte energético.

Está muy extendida la idea de que los biocombustibles son la única opción factible para sustituir a los combustibles fósiles en el sector del transporte con el doble objetivo de buscar la seguridad energética y prevenir el cambio climático. Ejemplos de la fuerte promoción llevada a cabo los encontramos en las espectaculares cifras del aumento de producción. Brasil, entre 2000 y 2004 aumentó su producción de bioetanol de 8 a 12 Mt (Schmitz, 2005), mientras que la UE triplicó la suya de biodiesel de 1,1Mt en 2002 a 3,2 Mt en 2005 (EEB, 2006). En el ámbito mundial, en esta década se ha producido un aumento espectacular de la producción de biocarburantes. La producción de biodiesel se ha multiplicado por diez en los últimos ocho años, hasta alcanzar en 2009 los 10.900 M litros/año. Esta cifra podría doblarse en 2012. La producción de bioetanol también ha aumentado pasando de 20.000 M litros en el año 2000 hasta 66.000 M litros en 2008. La mayor parte de este crecimiento se da en 3 países, EE.UU., Brasil y Alemania, que concentran más de la mitad de la producción de biodiesel y más de $\frac{3}{4}$ partes de la producción de bioetanol (AGENCY BIOENERGY TASK 39, 2010).

³⁴⁴ Las energías renovables pueden jugar un papel muy importante en el transporte por la necesidad de reducir las emisiones de los GEI en los dos sectores más contaminantes: el transporte y el residencial.

No obstante, hoy por hoy, los biocombustibles no resultan competitivos por lo que son precisas medidas de promoción para estimular su demanda como las exenciones de impuestos y las cuotas obligatorias de mezclas. Gran número de Gobiernos, Organizaciones, Organismos y ONG han promovido la siembra o el uso de cultivos energéticos para la producción de biodiesel durante más de una década, incluyendo el Banco Mundial y numerosos Institutos Nacionales.

Para los Países en desarrollo, los dos objetivos fundamentales de estas iniciativas son: (1) usar los cultivos energéticos y sus productos para alcanzar un desarrollo sostenible de la economía y el medio ambiente de las áreas rurales, y (2) lograr que estas sean autosuficientes en materia de energía, especialmente en combustibles líquidos, todo ello bajo la lógica de no desplazar otros cultivos importantes para la alimentación humana y no competir por tierras que presentan mejores oportunidades en otros usos.

Para el logro de estos objetivos en los países en desarrollo se han planteado las siguientes metas (Openshaw, 2000):

- Promover el uso del aceite vegetal como combustible para motores móviles o estáticos, destinados a extraer agua para equipos de riego, molinos de grano, transporte local y generación de electricidad.
- Promover el uso del aceite como una opción renovable y viable de energía para cocinar, alumbrarse y obtener calefacción local.
- Reducir la pobreza en las áreas rurales, especialmente de las mujeres, estimulando las actividades económicas relacionadas con el uso de los productos de esas plantas en la fabricación de jabones, medicamentos, lubricantes, productos químicos, fertilizantes e insecticidas.
- Salvaguardar la naturaleza a partir de la recuperación y mejora de la fertilidad de los suelos, el control de la erosión, la mejora del microclima y una reducción importante de GEI.

El desarrollo enfocado a aliviar la pobreza debe estar específicamente dirigido también a promocionar el papel de la mujer con objeto de compensar el desequilibrio del género femenino para acceder a las oportunidades

económicas, la salud y la educación en los países en desarrollo. Tiene que ser sostenible incluso desde el punto de vista ambiental (Brittaine, 2010).

Casi 2.500 M de personas en los países en desarrollo obtienen su sustento de la agricultura. De estos, alrededor de 900 M viven en el umbral de la pobreza³⁴⁵ La agricultura emplea el 40% de la mano de obra mundial (1.300 M de personas)³⁴⁶ y contribuye con el 4% al PIB mundial (Brittaine, 2010).

Es preciso estudiar si a partir de la agricultura es posible mejorar los ingresos de los más pobres y aliviar su pobreza. Hasta la fecha parece bastante improbable y la única posibilidad sería revertir la tendencia de caída de precios de los alimentos. Para sacarles de la pobreza debería haber otros sectores capaces de absorber esta mano de obra y no es el caso ni en los países en desarrollo, ni en la situación actual de crisis económica. La perspectiva mejora solamente si se consigue expandir el sector agrícola gracias al impulso de los biocarburantes, por el probable futuro del mercado energético. Esto pone de manifiesto la importancia de estos productos para aliviar la pobreza.

Se supone que la implementación de los objetivos que se trazaron para potenciar a los biocombustibles debe conllevar una mejor calidad de vida de la población rural, la reducción del consumo de leña³⁴⁷ y de carbón vegetal y otros residuos de las áreas rurales, el incremento del producto interior bruto, la reducción en los gastos relacionados con la importación de derivados del petróleo, la disminución en los niveles de deforestación, un uso mucho más productivo de la tierra, la reducción de emisiones de CO₂, el establecimiento de cadenas descentralizadas basadas en el uso del aceite vegetal y la promoción de un desarrollo basado en una nueva tecnología adecuada a las condiciones de los más pobres (Toral *et al.*, 2008).

³⁴⁵ Umbral de la pobreza implica vivir con menos de 1 dólar al día.

³⁴⁶ 650 M en los países en desarrollo (Brittaine, 2010).

³⁴⁷ La reducción del consumo de leña tiene importancia a efectos de reducir la deforestación, pero en relación con las emisiones a la atmósfera es más adecuada que un combustible fósil.

La AIE espera que la producción de biocombustibles en los países en desarrollo aumente de forma sustancial en los próximos años (AIE, 2006). Sin embargo, estos productos no solo van a facilitar la sustitución de los combustibles fósiles y con ello la disminución de las emisiones de los GEI, sino que pueden presentar también un lado negativo, en relación con su posible impacto ambiental si no se gestionan adecuadamente.

Algunos autores argumentan que, bien gestionados, los biocombustibles pueden ser muy ventajosos y estimular el crecimiento económico del medio rural en los países en desarrollo. Según Von Braun (2006), los biocombustibles pueden dar lugar a demanda de cultivos energéticos tales como: caña de azúcar, soja, colza y palma. En Países tropicales y subtropicales, los agricultores pueden aumentar sus ingresos con cultivos energéticos como la *Jatropha curcas*, L. que crece en suelos marginales y no compite por los alimentos. También se argumenta que la industria de los biocombustibles modernos puede producir un ingreso adicional a los agricultores de estos países gracias a la paja, la hierba, los residuos, los tallos y las hojas que se pueden convertir en biogas, etanol o electricidad (Jumbe *et al.*, 2007).

3.5.1.1. Aspectos fiscales de la promoción de biocombustibles en países en desarrollo

Las políticas de promoción de biocombustibles que utilizan las exenciones de impuestos y las cuotas obligatorias de mezclas pueden suponer una carga para los presupuestos nacionales. La producción de los cultivos energéticos requiere de disponibilidad de tierras y esto puede dar lugar a conflictos con la producción de alimentos. Incluso los efectos ambientales pueden ser bastante ambiguos. Por ello, los programas de promoción de biocombustibles, en los países en desarrollo, deben ser cuidadosamente analizados. Investigadores alemanes han analizado y comparado los costes financieros que implicaría el uso de biocombustibles con datos de la India y Tanzania (Peters y Thielmann, 2008).

En primer lugar, estos autores han analizado la justificación económica a la aplicación de impuestos a los combustibles, que se basa en:

- Estos son un instrumento secundario para el mantenimiento de las infraestructuras viarias.
- Internalizan los costes externos que provoca la contaminación.
- Representan una tasa que mejora la eficiencia de otros impuestos.
- Son una tarifa adecuada a la importación.

Los dos primeros puntos son especialmente relevantes para el transporte. En relación con el primero, las infraestructuras son uno de los aspectos más importantes en el desarrollo económico. Estos impuestos son fundamentales para el mantenimiento y la ampliación de las mismas. En el caso de los biocombustibles, es cierto que su promoción precisa de incentivos, pero los subsidios que se les aplican en muchos países, alientan su uso entre los productores pero también afectan a los retornos que obtienen los Estados y con ello ponen en peligro la financiación de las infraestructuras. En el caso de muchos países en desarrollo, los impuestos a los combustibles son una parte importante de los ingresos nacionales, llegando a suponer una cuarta parte de los ingresos totales obtenidos de los impuestos. Así, las exenciones de impuestos³⁴⁸ que se aplican a los biocombustibles pueden implicar una pérdida importante de los ingresos nacionales. La sustitución del 10% de combustibles fósiles, de media representa el 2% menos de ingresos (Peters y Thielmann, 2008).

El segundo aspecto, la internalización de los costes de la contaminación que supone la tasa al combustible, incrementa el precio para el consumidor. Esto supone un incentivo financiero inmediato para economizar el uso del combustible y disminuir las emisiones, bien a través de la fabricación de motores más eficientes, una conducción más adecuada o la reducción del uso del vehículo.

³⁴⁸ Puesto que habitualmente las personas no reaccionan de forma negativa a los impuestos a los carburantes, lo cual se aplica a combustibles biológicos y fósiles, estos autores entienden que no habría motivos para aplicar exenciones de impuestos a los biocarburantes

3.5.1.2. Aspectos ambientales de la promoción de biocombustibles en países en desarrollo

Existen externalidades importantes que justifican el tratamiento preferencial a los biocarburantes. Entre las de carácter ambiental, la reducción de las emisiones de GEI es la que se considera más importante. En términos generales la combustión de los biocombustibles se considera neutra en cuanto al balance de CO₂, ya que se supone que se emite la misma cantidad que previamente había fijado la planta. Esto no parece ser totalmente cierto porque también se consume energía en su producción (Fron del y Peters, 2007). Es altamente improbable que la aplicación de exenciones fiscales resulte una opción económicamente viable para la internalización de los costes de las emisiones de GEI en el futuro. Además, en el caso de las emisiones locales, los biocarburantes producen igualmente contaminantes perniciosos para el entorno inmediato, especialmente el biodiesel con la emisión de partículas que resulta solamente ligeramente inferior que en el caso de los combustibles fósiles, como hemos comentado anteriormente.

Los cultivos energéticos también precisan de un uso intensivo de fertilizantes que provoca contaminación en el entorno local de su producción por la eutrofización y acidificación de las superficies de agua. Esto, junto con la pérdida de nutrientes que provoca la irrigación, puede resultar una grave amenaza para los países en desarrollo donde el acceso al agua potable y la fertilidad de los suelos son las mayores preocupaciones de la población (ESMAP, 2005). Un ejemplo de esto lo tenemos en la pérdida de bosque húmedo que se está produciendo en el sudeste asiático por la producción de aceite de palma que tiene serias consecuencias locales y globales desde la perspectiva ambiental (AIE, 2006).

Podemos concluir que aunque los biocombustibles puedan ser interesantes desde el punto de vista de la reducción de las emisiones de GEI, la promoción de los mismos en los países en desarrollo necesita también que se realice una comprobación cuidadosa del balance ambiental, en cuanto al uso del agua, fertilizante y plaguicida.

3.5.1.3. Aspectos socioeconómicos de la promoción de biocombustibles en países en desarrollo

La AIE considera que hay dos externalidades de carácter económico que pueden favorecer la promoción de los biocombustibles: el desarrollo rural y la diversificación del aporte energético.

Respecto a este último, predice que para el año 2030, los biocombustibles habrán sustituido al uso de combustibles fósiles en el ámbito mundial entre un 4-7% (AIE, 2006)³⁴⁹.

En cuanto al desarrollo rural, se espera que la producción de biocombustibles incremente el valor añadido en el sector agrícola, y contribuya así al desarrollo y al empleo rural. De esta forma los agricultores podrían tener acceso a los mercados regionales o incluso internacionales, que es una de las grandes aspiraciones de los países en desarrollo (Peters y Thielmann, 2008). En cualquier caso, todavía se desconoce el efecto para un país sobre el empleo directo en este sector, ya que no basta con considerar los trabajadores empleados sino que hay que tener en cuenta aquellos empleos que desaparecen en los otros sectores. Con tal de que la reducción de empleos no se produzca en las áreas rurales, establecer exenciones de impuestos a los biocombustibles para contribuir al empleo rural puede justificarse como una estrategia de desarrollo regional (Peters y Thielmann, 2008).

Parece por tanto que los aspectos ambientales no son la única justificación para establecer exenciones fiscales a la comercialización de biocombustibles.

Las tasas a los combustibles producen los retornos necesarios en los presupuestos nacionales para la construcción de las infraestructuras. Las exenciones, en los países en desarrollo, deben manejarse con cuidado y ser válidas por un tiempo limitado. Si los responsables políticos consideran que el desarrollo rural es una prioridad nacional, los biocombustibles son una opción

³⁴⁹ Estas previsiones reflejan que la AIE tiene poca confianza en cuanto a las posibilidades de diversificación energética de los biocombustibles.

interesante, sin olvidar los efectos colaterales sobre los mercados locales y el empleo en otras industrias.

3.5.2. Evaluación del ciclo de vida de la *Jatropha curcas* L. y promoción de su cultivo en África.

El transporte consume el 30% de la producción energética mundial y en el 99% depende del petróleo (AIE, 2007). A su vez representa entre el 21 y el 30% de las emisiones de GEI. Para paliar los efectos ambientales del transporte, se está apostando fuertemente por los biocombustibles, sin embargo estos cultivos energéticos plantean cierta preocupación porque hemos visto que para su obtención se utilizan de forma intensiva combustibles fósiles, fertilizantes y plaguicidas con importante impacto sobre los ecosistemas.

En los últimos 10 años ha cobrado una atención creciente la utilización de *J. curcas* L como materia prima para la producción de biodiesel de manera que se han establecido muchas plantaciones de este cultivo por el cinturón tropical y subtropical de todo el mundo, especialmente en el África Subsahariana, Ibero América, y Este y Sur asiático (Li *et al.*, 2010). No obstante, es preciso determinar el interés económico de esta especie en términos de producción y de los beneficios para el ecosistema y posibles amenazas para la biodiversidad local cuando se utiliza a gran escala. Hay aspectos ambientales, socio-económicos, tecnológicos y toxicológicos relacionados con la selección, prácticas de cultivo, mantenimiento y gestión de las plantaciones de jatrofa que deben tratarse adecuadamente y completar todos estos vacíos de conocimiento.

Hasta la fecha se han sembrado en el mundo unas 900.000 ha. El objetivo para el 2015 alcanza la cifra de 13 M de ha. Para el 2013 se considera que el 50% de las plantaciones de jatrofa serán a gran escala y de ellas, el 20% superarán las 1.000 ha (Brittaine, 2010).

Los principales estudios del impacto agro-ambiental del cultivo de *J. curcas* L. para obtener biodiesel en África son fundamentalmente cualitativos y se han

realizado sobre todo en Kenia y Tanzania (Ndong *et al.*, 2009). El primer estudio cuantitativo basado en la evaluación del ciclo de vida (ECV)³⁵⁰ se ha realizado en una estación de investigación agronómica en Mali y en una pequeña plantación (1-10 ha.) en Costa de Marfil. La evaluación se centra en el estudio de las emisiones de GEI y en el uso de recursos no renovables (Ndong *et al.*, 2009). En este estudio del ciclo de vida se comparan dos sitios de cultivo³⁵¹: uno es un antiguo campo de algodón y el otro un área marginal que no se ha cultivado en 50 años. Se observa que hay un gran potencial para el uso local del aceite como combustible de los motores estáticos. En el caso de Costa de Marfil, la mayor parte del aceite de jatrofa se lleva por tren al puerto de Abidjan (Costa de Marfil) donde viaja a Francia por barco para proceder a la trans-esterificación³⁵². Esto se debe a que en Costa de Marfil, como en la mayoría de países africanos, no existe todavía el marco regulatorio necesario que proporcione seguridad jurídica a esta industria.

Una vez realizada la plantación y los tratamientos necesarios en cada caso según la práctica existente, no se realiza cosecha hasta pasados tres años ya que las plantas necesitan una estructura adecuada para producir semillas. En la literatura científica las cifras de rendimiento de las cosechas de jatrofa son muy variables, pudiendo oscilar desde 2-3 tn. de semilla seca/ha en terrenos marginales y zonas semi-áridas (Heller, 1996), hasta 5 tn. de semilla seca en suelos buenos con una pluviosidad media de 900 a 1200 mm (Francis *et al.*, 2005).

El principal objetivo de la evaluación es comparar las emisiones de GEI (CO₂, CH₄, NO₂) y el consumo de recursos no renovables del biodiesel de jatrofa con

³⁵⁰ El análisis o evaluación del ciclo de vida es una metodología de análisis ambiental, definida en un conjunto de normas ISO (14040 a 14044). Estudia el impacto ambiental potencial a través de todo el ciclo de vida del producto, desde la extracción de la materia prima hasta la producción, uso final y eliminación o reciclado del producto. Se utiliza para calcular el rango de los impactos ambientales, entre los que se encuentran las emisiones de GEI y su contribución al cambio climático, así como el uso de recursos no renovables, como los combustibles fósiles. Comprende cuatro etapas: (1) Definición de los objetivos y alcance del estudio, (2) Inventario de ciclo de vida, (3) Caracterización de los impactos y (4) Interpretación.

³⁵¹ Tras la cosecha y el descascarillado, las semillas se secan al sol antes de su transporte en camión hasta la localidad donde se efectúa el prensado en frío aprovechando que ya existían instalaciones adecuadas para ello que se utilizaban en la industria del algodón.

³⁵² En la trans-esterificación, 1 mol de triglicérido + 3 moles de metanol producen 1 mol de glicerina y 3 moles de ester de metilo de jatrofa (JME ó biodiesel)

los del combustible fósil. Para ello se utiliza el enfoque “*del pozo a la rueda*”³⁵³ que en este caso sería desde la producción del cultivo al almacenamiento del biodiesel. Este estudio no ha tenido en cuenta el CO₂ fijado por la planta ya que se supone que se compensa con la combustión del producto (Ndong *et al.*, 2009).

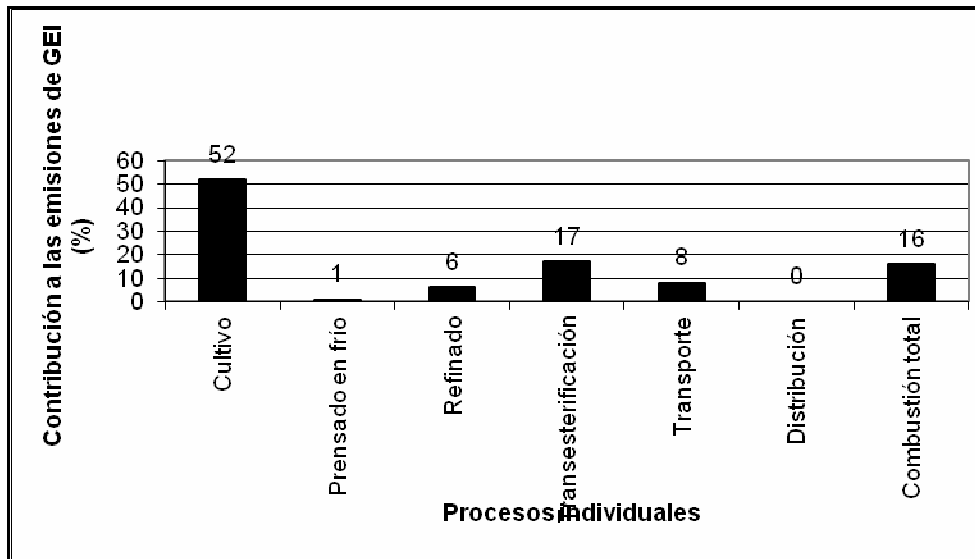
Otro de los aspectos más relevantes del estudio es el cambio de uso de la tierra que representa uno de los mayores problemas en la evaluación de los cultivos energéticos (Ndong *et al.*, 2009). El cambio puede ser directo cuando se reemplaza un bosque por un cultivo energético, o indirecto cuando se desplaza a un cultivo para producción de alimento. El resultado de estos cambios es una rápida oxidación del carbón orgánico del suelo que provoca un balance negativo de las emisiones durante décadas. Por el contrario, la producción de un cultivo energético en suelos marginales o con bajo contenido de carbono orgánico, puede favorecer el secuestro de este y por tanto mejorar de forma significativa el balance de los GEI (Reinhardt, 2007). Este aspecto no se ha considerado habitualmente en la evaluación del ciclo de vida de los biocombustibles, a pesar de su importancia. Sin embargo, desde el punto de vista económico, el cultivo a gran escala es poco probable que vaya a desarrollarse sobre suelos marginales puesto que esto afectaría a la productividad. Este aspecto junto con el uso de la tierra son los dos factores más críticos a considerar cuando se planifiquen futuras plantaciones.

Li *et al.*, (2010) han determinado un esquema de acuerdo con los dos factores más críticos. Los autores han utilizado un proceso basado en un modelo de productividad primaria para calcular la producción potencial. Según el estudio, el área potencial de la plantación estaría entre 59-1.486 Mha en todo el mundo para obtener una producción potencial de 56-3.613 Mt. de peso seco anuales. Este tipo de información puede ser útil para los gestores políticos.

³⁵³ “Del pozo a la rueda” es el análisis del ciclo ambiental específico para medir la eficiencia de los combustibles usados para el transporte por carretera. Habitualmente se divide en varias etapas “del pozo a la estación de servicio” o “del pozo al tanque” y “de la estación a la rueda” o “del tanque a la rueda”. La primera etapa que incorpora el procesado del cultivo y la producción del combustible también se denomina “contra-corriente” y la segunda que comprende las operaciones del vehículo se llama “a favor de la corriente”

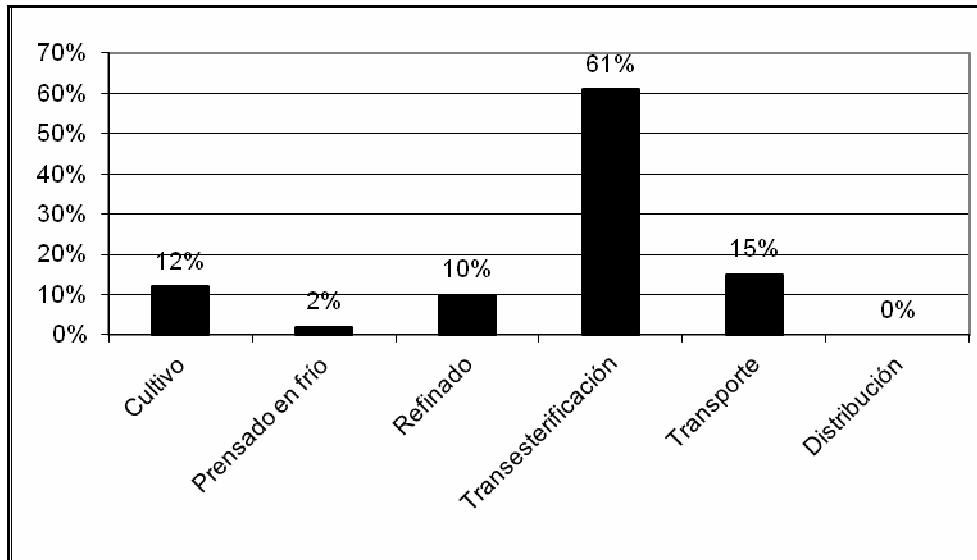
Otro aspecto importante de este proceso es el *inventario del ciclo de vida* que consiste en cuantificar las distintas entradas y salidas en cuanto al flujo de energía, materia y contaminantes a través del sistema. En el Gráfico 21 se observa la contribución de cada proceso elemental de la producción de 1 megajulio de metil-éster de jatrofa en cuanto a emisiones de GEI. El Gráfico 22 presenta el porcentaje de energía que consume cada fase del proceso y se observa que mientras que el cultivo consume solamente el 12% de la energía, el transporte representa el 15% y el proceso de trans-esterificación el 61% del consumo total, debido al gran volumen de metanol que es preciso utilizar (112 kg para producir 1 tn de ester de jatrofa (NDong *et al.*, 2009). De ello se deduce que es preciso perfeccionar el uso de fertilizante y la trans-esterificación para racionalizar el consumo energético y reducir las emisiones.

Gráfico 21.- Contribución a las emisiones de GEI de cada proceso elemental en la obtención de 1 megajulio de metil-éster de jatrofa



Fuente: Ndong *et al.* (2009)

Gráfico 22.- Porcentaje de energía consumida en la producción de 1 megajulio de metil-éster de jatropa



Fuente: Ndong *et al.* (2009)

La evaluación de los impactos se centra en las emisiones de GEI y el uso de recursos no renovables. Las emisiones de los distintos contaminantes se transforman a tn de CO₂ equivalentes utilizando los potenciales de calentamiento globales a 100 años que figuran en el informe presentado por el IPCC en el 2007 (Foster, 2007). El potencial para el CH₄ es de 25 y para el N₂O es de 296.

Se estima que la producción de biomasa de jatropa secuestraría 5,5 tn de CO₂/ha/año (Achten *et al.*, 2008). No obstante, puesto que esta cifra sería diferente según las distintas regiones agro-climáticas, debería cuantificarse de forma más precisa y utilizarse para obtener créditos de carbono a través del CDM, especialmente en la India, Brasil, China, México, Colombia y Perú. En la India ya se está llevando a cabo un estudio en este sentido para evaluar el potencial secuestro de carbono de plantaciones de jatropa que crecen en condiciones edáficas variables (Srivastava, 2010).

Estos datos ponen en evidencia los beneficios significativos que puede proporcionar la jatropa en África occidental en relación con el ahorro de energía y GEI, sin embargo el desarrollo de esta especie con fines energéticos

presenta numerosas barreras técnicas y no técnicas (Openshaw, 2000). Es evidente que si el aceite puro se vende en el mercado local y se usa como combustible para la electrificación rural, las emisiones se pueden reducir el 45% y el consumo energético el 82% (Ndong *et al.*, 2009).

En cuanto al uso del agua, si bien el cultivo de jatrofa es poco probable que reduzca el acceso al agua ya que tiene poca requerimiento comparado con otros cultivos, la producción a gran escala puede crear una demanda que entre en conflicto con otros usos del agua. La contaminación accidental del agua potable también puede ser una preocupación dadas las grandes cantidades de metanol que requiere el proceso de producción de biodiesel (Brittaine, 2010).

Teniendo en cuenta que la producción de cualquier cultivo en una explotación agraria depende de las prácticas agronómicas, estas serán fundamentales para plantaciones a gran escala. Por ser una planta no domesticada, la productividad de la jatrofa es muy variable (0,4-12 tn/ha) y todavía no hay información muy completa sobre su genética, prácticas de cultivo o aspectos reproductivos, entre otros (Achten *et al.*, 2008). Es muy importante perfeccionar las prácticas agrícolas³⁵⁴ de esta especie.

El cultivo de la jatrofa tiene ventajas sociales ya que la producción no está industrializada y requiere mano de obra, con lo cual se pueden crear empleos entre la población local. No obstante, existen también riesgos sociales propiciados porque la economía de escala que se favorezca con la producción de biodiesel, puede alentar la adquisición de tierras por parte de intereses privados, lo que amenaza el acceso a la tierra por lo más pobres en las áreas rurales. Es preciso reforzar los sistemas de administración de la tierra.

Mientras que la producción a gran escala creará empleo en el medio rural, éste probablemente será poco cualificado y estacional, lo que favorece unas

³⁵⁴ Las estrategias de multiplicación, la optimización de los patrones de espaciado, la estandarización de las técnicas de poda y los tiempos para conseguir una buena arquitectura de la planta, la aplicación de reguladores del crecimiento, la gestión integrada de nutrientes, la gestión integrada de plagas y otros aspectos, deberían calcularse sobre la base de las condiciones edáficas y climáticas.

condiciones de empleo poco adecuadas que deberían ser supervisadas por los Gobiernos y las ONG. Si se trata de mayoristas que compran la producción a pequeños agricultores, estos tendrán poca posibilidad de negociar para obtener buenos precios y condiciones por lo que es importante la creación de cooperativas y organizaciones de productores (Brittaine, 2010).

Las mujeres se pueden beneficiar especialmente porque los molinos impulsados por motores diesel alimentados con aceite de jatrofa pueden reducir el tedioso trabajo que deben realizar. El uso de este aceite para reemplazar el combustible que utilizan habitualmente para cocinar, también sería más sano ya que cocinarían en un ambiente libre de humos y además se evitarían la recogida de leña. Esto disminuiría la presión sobre las masas forestales. Así, la opción de obtención de energía a partir de las plantaciones de jatrofa y el uso de su aceite en las comunidades rurales para generar electricidad a partir de biodiesel ofrece beneficios para la salud, la educación y la información ya que por ejemplo:

- La salud mejora con la disponibilidad de energía para refrigeración y mantenimiento de vacunas.
- La educación se beneficia por la posibilidad de disponer de luz artificial y aumentar por tanto las horas de estudio.
- El acceso a la información mejora cuando la electricidad puede alimentar teléfonos móviles, ordenadores, televisiones y radios.
- Los profesionales de la salud y la educación pueden vivir y trabajar más fácilmente si las condiciones de vida pueden mejorar al disponer de energía eléctrica.

En principio podemos considerar que la jatrofa tiene un potencial agronómico, ambiental y económico. Parece que la producción de biodiesel a partir de este cultivo supone un ahorro de emisiones y de uso de energía fósil, mayor que otros biocombustibles utilizados en la actualidad. Por tanto, pensamos que puede contribuir a la mitigación del cambio climático y a favorecer la independencia energética. El mejor comportamiento de este cultivo en África puede deberse a su naturaleza perenne y a que su producción no está centralizada, ni industrializada. Sin embargo, no hay que olvidar el posible

impacto potencial local ligado a las diferentes fases del cultivo (eutrofización o ecotoxicidad) (Ndong *et al.*, 2009).

Como en otras regiones del mundo, en África los biocombustibles implican un potencial de acceso a la energía importante para aquellas zonas no conectadas a la red nacional. El impacto de un programa integrado de biocombustibles sobre el desarrollo rural puede ser muy relevante si se diseña e implementa de forma adecuada y se aprovecha la experiencia obtenida en otros países para no dar pasos en falso. A largo plazo, los biocombustibles pueden ser la clave para un sistema de transporte bajo en carbono basado en etanol celulósico, gas verde o mezclas con otras energías renovables. De acuerdo con las medidas adoptadas por otras regiones del mundo y las preocupaciones globales para asegurar la sostenibilidad, se pueden plantear unas interesantes recomendaciones (UNIDO, 2007):

- Apoyo político. En las primeras etapas, cualquier estrategia de promoción debe contar con un fuerte marco político que asegure la viabilidad de la iniciativa y la disponibilidad de mercados para esos productos.
- Concienciación de la población mediante campañas, jornadas y seminarios sobre las ventajas del uso de los biocombustibles frente a los carburantes de origen fósil. La aceptación pública de estos productos como una industria importante se basará en el compromiso nacional del Gobierno.
- Incentivos a los consumidores y productores mediante exenciones de impuestos. Los incentivos fiscales son precisos para crear una industria viable y exitosa.
- Reducción de la pobreza. Esta industria puede crear gran número de empleos desde los agricultores a los comercializadores. Hay una fuerte tendencia a mejorar la economía local si la mayoría de las refinerías se nutren de materia prima de los productores locales.

- Mirarse en el espejo de otros. Hay que aprender de los errores ajenos y trazar nuevas rutas para que África pueda convertirse en un centro mundial de biocombustibles, como se manifestó en el Seminario AFRICAN UNION/Brasil/UNIDO y otros celebrados a nivel regional e internacional.

África encierra un gran potencial de innovación que debe dirigirse adecuadamente para crear pequeñas compañías innovadoras y “clusters” industriales. Hay que dar atención especial a la inversión en innovación para evitar que los países africanos se conviertan en productores de materia prima para la industria de los biocombustibles en los países más desarrollados (Darkwah *et al.*, 2007). Estos autores presentaron un estudio que compara 19 Países africanos en relación con su marco político para los biocombustibles. Se ha puesto de manifiesto que 15 de ellos han enmarcado sus medidas dentro de sus Estrategias de Reducción de la Pobreza; 6 de ellos también o exclusivamente la desarrollan dentro de la política energética y solamente 2 desarrollan una política específica para los biocombustibles (Ghana y República de Sudáfrica). Todos estos documentos se han elaborado entre 2001 y 2008 y comparten el objetivo común de desarrollar sus fuentes de energía alternativas y más sostenibles (Darkwah *et al.*, 2007).

En concreto, en la región del Golfo de Guinea (Tabla 47), la promoción de los biocombustibles precisa, como en otros países, de los siguientes elementos (Ben Hagan, 2007):

- Claro apoyo por parte de los Gobiernos para definir una política clara en biocombustibles.
- Concienciación y educación pública sobre biocarburantes.
- Participación activa de todos los “grupos de interés” en este proyecto: agricultores, industria y responsables políticos.
- Desarrollo de cadenas de distribución.
- Facilidades para el acceso a microcréditos para proyectos.
- Construir la capacidad local para la fabricación, reparación y mantenimiento de los equipos y sistemas de biocombustibles.

- Estudios de factibilidad y planes de financiación de proyectos previos a su implementación.

Tabla 47.- Situación de la promoción de biocombustibles en el Golfo de Guinea (2007).

País	Biocombustible	Capacidad planta (M litros)	Materia prima	Inversión (M€)
Benin	Etanol	20	Casava	10,7
Burkina Fasso	Etanol	20	Caña azúcar	9,2
Costa Marfil	Etanol	20	Molasses	9,2
Ghana	Biodiesel	50	Jatrofa	11,5
Guinea-Bissau	Etanol	10	Anacardo	7,0
Mali	Etanol	20	Molasses	9,2
Niger	Biodiesel	10	Jatrofa	4,6
Nigeria	Etanol	70	Caña azúcar	4,6
Senegal	Etanol	15	Molasses	23
Togo	Biodiesel	10	Jatrofa	7,6
Total				96,6

Fuente: Ben Hagan (2007)

En África occidental como en otras regiones del mundo se está promoviendo el cultivo de *J. curcas* L. para reducir la dependencia de los combustibles fósiles. Mali, estableció un programa nacional para la conversión de jatrofa en energía y un proyecto de electrificación. En Burkina Fasso, la Unión Nacional promueve varias plantaciones de jatrofa para producir biodiesel. En Kenia, se creó en 2008 la Asociación del Biodiesel para promover la producción de metil-

ester de jatrofa y se propuso una regulación para alentar la mezcla del 3% de biodiesel con el diesel convencional (Ndong *et al.*, 2009).

A continuación se presentan dos ejemplos de países de África con diferente desarrollo en este sector:

3.5.2.1. Senegal

En Senegal, el Gobierno lanzó en 2004 un ambicioso programa con el objetivo de plantar unas 300.000 ha con *J. curcas* L. Este país podría producir 600 millones de litros de biodiesel anuales y convertirse en uno de los principales suministradores de energía renovable de la UE gracias a la jatrofa, planta cuyo cultivo está promoviendo el Gobierno, que considera que la importación de aceite de jatrofa de Senegal ayudaría a los países europeos a cumplir las medidas aprobadas por la UE para luchar contra el cambio climático. Sus estimaciones se basan en el último informe de EUROBSERVER que apunta que: “el consumo de biocarburantes en Europa creció solamente el 18,7% entre 2008 y 2009”, lo que representa una disminución en el ritmo de crecimiento.

El Ministerio de Economía español ha elaborado recientemente (2009) el “informe sobre el sector de los biocarburantes en Senegal”³⁵⁵, donde se afirma que Senegal podría convertirse en el granero de biodiesel de Europa. Por ejemplo en el caso de España tenemos que elevar a más del doble la proporción de energía renovable que utilizamos para cumplir con los objetivos europeos.

Según el informe, la jatrofa es una de las plantas más prometedoras en el mundo de los biocarburantes. También se recoge que Senegal puede cultivarla y además tiene una situación geográfica privilegiada para su exportación a Europa³⁵⁶. Desde el puerto de Dakar, el de mayor tránsito de África occidental, un barco tarda entre 8 y 15 días en transportar mercancía hasta los principales puertos españoles. Para que Senegal produzca biodiesel necesita

³⁵⁵ <http://www.icex.es/icex/cma/contentTypes/common/records/viewDocument/0,,00.bin?doc=4231680>

³⁵⁶ Senegal es mucho más competitivo para enviar el biodiesel a Europa que Brasil, la India o Etiopía’

un marco regulador, del que ahora no dispone, aunque existe un Proyecto de Ley, pendiente desde finales de 2008, que debe ser aprobado por el Consejo de Ministros y, posteriormente, por la Asamblea Nacional (ICEX, 2009).

El informe considera que todavía hay muchas dudas sobre el funcionamiento del mercado en ese país, a pesar de la voluntad del Gobierno de Senegal de hacer el mercado más atractivo para los inversores. El disponer de una Ley supondría el principio del mercado de biocarburantes con Europa. Algunas empresas, como las españolas PROMEGAL³⁵⁷ y YACAR GREEN POWER³⁵⁸, ya han empezado a apostar.

Con estos proyectos, Senegal podría convertirse en el principal exportador de biodiesel a Europa y ahorrarse muchos M€ al año en importación de productos petrolíferos³⁵⁹. Senegal, como la mayoría de Países africanos tiene una fuerte dependencia del petróleo para la producción de energía eléctrica y para el transporte. El consejero de Políticas Públicas de Senegal ha comentado recientemente en el II Salón de Cooperación con España (2009) que: “El elevado precio del petróleo y el debate sobre el cambio climático han suscitado un vivo interés por la producción de biodiesel”. Por su parte, las Autoridades canarias apoyan el proyecto de producción de biodiesel en Senegal y los posibles beneficios que podría aportar al archipiélago español, por lo que el Cabildo de Tenerife ha instalado un laboratorio para el cultivo *in vitro* de jatrofa en Senegal. También forma especialistas senegaleses en las islas. Canarias, que se encuentra a medio camino entre Senegal y la península ibérica y dispone de 3 líneas marítimas que operan entre el puerto de Las Palmas y el de Dakar, podría ser el centro de las operaciones para este comercio entre África y Europa (Rodríguez, 2009).

³⁵⁷ PROMEGAL' tiene previsto, en el plazo de tres años, una producción anual de aceite de jatrofa de 800.000 litros en las 80 ha de las que dispone.

³⁵⁸ 'YACAR GREEN POWER' planea invertir 2 M€ en una plantación de más de 3.000 h para producir 17.000 t/año de aceite de jatrofa, para exportar íntegramente a Europa.

³⁵⁹ Senegal gastó en 2008 747 M€ en importaciones de crudo (Agencia Nacional de estadísticas Senegalesa.)

3.5.2.2. Ghana

El sector energético en Ghana tiene una fuerte dependencia de la leña y de los productos del petróleo importado. La procedencia de la energía final utilizada en este país se reparte de la siguiente forma: Leña (63%); productos del petróleo (27%) e hidroeléctricas (10%).

El reparto de consumo de petróleo por sectores es:

– Transporte	78%
– Vivienda	8%
– Industria	7%
– Agricultura	5,4%
– Otros	1,6%

Se calcula que el crecimiento del consumo del petróleo entre 2005 y 2015 va a alcanzar la cifra del 56%, lo que supone una enorme carga para la balanza comercial de este país. Existen por tanto algunas iniciativas relacionadas con biocombustibles para redirigir esta situación, que se han enfocado en la jatrofa. Los principales actores implicados en ellas son Organizaciones sin ánimo de lucro, empresarios y el propio Gobierno. Las actividades más relevantes que se están desarrollando son:

- cultivo de la *J. curcas* L.
- extracción del aceite de la semilla.
- plantas de producción a pequeña escala.
- demostraciones de I+D

En 2005, se creó el Comité de Biocombustibles por parte de la Comisión de la Energía que desarrolló y remitió la “Política Nacional sobre Biocombustibles”. Su objetivo es acelerar el desarrollo de esta industria, poniendo un especial énfasis en la producción de biodiesel a partir de jatrofa. En realidad la coordinación es muy limitada y hasta la fecha no se ha aplicado el principio de las lecciones aprendidas. La política establece una serie de recomendaciones:

- Sustitución del 20% del consumo de diesel y el 30% del consumo de queroseno con aceite de jatrofa para 2015.

- Eliminación de las barreras institucionales para promover la inversión y la gestión del sector privado en la industria del biodiesel.
- Creación de un clima regulatorio favorable para asegurar el desarrollo de un mercado competitivo, un régimen de precios favorable y una alta calidad del producto.
- I+D para mejorar la eficiencia de las tecnologías de producción del biodiesel con el objeto de reducir los costes de producción y mejorar la calidad y eficiencia del producto.

A medio y largo plazo Ghana tiene previsto convertirse en un exportador neto de biocombustibles. En la actualidad existe una empresa, ANUANOM INDUSTRIAL BIO PRODUCTS Ltd. (AIBP) que se creó con el objetivo de procesar aceite de jatrofa. Originariamente AIBP planeaba construir una planta para 360.000 tn/año con un coste de 8,9 M€, pero realmente se ha instalado una planta que procesa 500 tn de aceite de jatrofa en biodiesel y un equipo de 2.000 tn para producir fertilizante orgánico a partir de la torta. Se está iniciando la comercialización del producto.

La última etapa de este proyecto³⁶⁰ es convertir 1 Mha de suelos degradados en plantaciones de jatrofa en los próximos 5 ó 6 años. Se trata de la zona circundante al Lago Volka (Ghana) que a causa de la construcción de presas, sufrió un intenso proceso de deforestación.

El objetivo de esta fase es múltiple ya que se trata de recuperar el suelo, mantener la biodiversidad, reforestar y plantear una gestión forestal sostenible, crear puestos de trabajo locales en el mantenimiento de las plantaciones y obtener materia prima para la fabricación de biodiesel y fertilizantes. Para coordinarlo, se creó el “Comité del Proyecto Nacional de la Jatrofa” compuesto por representantes del Gobierno y de la empresa.

³⁶⁰ Jatropha Project in Ghana: how to restore vegetation and ecosystem along major man made lakes and ways to raise finance. Disponible en: <http://www.compete-bioafrica.net/policy/Ghana%20Jatropha%20project.pdf>

3.5.3. Promoción de la *Jatropha curcas* L. en Iberoamérica

En Iberoamérica, como en el resto del mundo, el creciente interés en los biocombustibles producidos a partir de biomasa como una fuente renovable de energía alternativa, ha permitido el desarrollo de marcos regulatorios (políticas, leyes y normativas) tendentes a promover su producción y uso, como se recoge en la Tabla 48. De hecho, esta región es reconocida como la que posee mayores potencialidades para la producción de biocombustibles en el ámbito mundial, debido a sus ventajas comparativas, a la existencia de grandes extensiones de tierra con clima húmedo, potencial agrícola, costes de producción relativamente bajos y el liderazgo de Brasil en el desarrollo agrario y tecnológico del sector.

En 2009, el Director General del IICA, se hacía eco del impulso al cultivo de *J. curcas* L. para generar combustibles renovables en Iberoamérica, ya que con el objetivo de impulsar la producción de biodiesel en esa región, instituciones de investigación agrícola pretenden consolidar la Red de investigación, desarrollo e innovación de *J. curcas* L. para producción de biodiesel (Red *Jatropha* LAC)³⁶¹.

³⁶¹ Esta red forma parte de la Red Agroenergía del Programa Cooperativo de Investigación, Desarrollo e Innovación para los Trópicos Sudamericanos (PROCITROPICOS/IICA) y tiene por objetivo impulsar la sustitución parcial de combustibles fósiles por combustibles renovables de origen vegetal, específicamente los generados a partir de jatrofa.

Tabla 48.-Objetivos de la legislación sobre biocombustibles en Iberoamérica.

Finalidad	AR	PAR	COL	BOL	PE	BR	EC	HON
Biocombustibles en matriz energética nacional						X		
Contribuir al desarrollo sostenible y facilitar la implementación de MDL	X	X					X	
Disminuir dependencia de combustibles fósiles y aumentar la autosuficiencia energética	X		X	X				X
Contribuir a la generación de empleos e ingresos			X		X	X		X
Disminuir la contaminación ambiental			X		X			X
Ofrecer mercados alternativos a los cultivos ilícitos.					X			

Fuente: Hernández (2008)

AR = Argentina; PAR = Paraguay; COL = Colombia; BOL = Bolivia; PE = Perú; BR = Brasil; EC = Ecuador y HON = Honduras.

Las semillas contienen un alto porcentaje de aceite, el cultivo es perenne (no se necesita renovar anualmente la siembra) y no es una fuente alimentaria, por lo que no compite con la agricultura de alimentos; sin embargo, permite la siembra de otros cultivos de forma tal que se puede producir energía y alimentos en un mismo terreno. La Red pretende implementar un programa de mejoramiento genético de esta especie, consolidar bancos de germoplasma en la región y facilitar el intercambio de información, conocimientos y mejores prácticas, generadas a partir de las actividades de investigación. Se espera que en cuatro años la Red esté consolidada³⁶².

Los biocombustibles constituyen una oportunidad única para aumentar la auto-suficiencia energética de los países en desarrollo y, a la vez, orientar su

³⁶² Texto disponible en : (http://www.iica.int/Esp/prensa/Infoletter/Infoletter/2009/n6/n6_esp_2009.pdf)

potencial hacia la reducción de la pobreza rural. El sector público iberoamericano tiene por tanto, la responsabilidad de dictar las reglas para que este mercado se desarrolle de manera que favorezca la inclusión social. Esto permitirá que la población excluida participe en toda la cadena de producción y propiciará, al mismo tiempo, condiciones favorables para que la industria se vuelva económica y financieramente sostenible.

El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), con sede en Colombia, está experimentando con jatrofa en varias zonas del suroeste del país, bajo el principio de desarrollar sistemas económicos e innovadores (Dominguez, 2008).

El Servicio Holandés de Cooperación al Desarrollo realizó en 2008 un estudio comparativo de la legislación de los diferentes países iberoamericanos en este ámbito (Hernández, 2008). El estudio pone de manifiesto que cada país apunta a determinados objetivos y finalidades cuando establece una regulación sobre temas particulares. En algunas Leyes estos objetivos o finalidades son explícitas y en otras son tácitas. Algunos objetivos son bastante amplios, como en el caso de Brasil, y en otros están más limitados, como en el caso de Paraguay.

En relación con la producción y el uso de biocombustibles, en Paraguay la Ley determina que su objetivo es contribuir al desarrollo sostenible del país, además de facilitar la ejecución de proyectos en el marco del MDL del Protocolo de Kioto. En Ecuador también se recogen ambos objetivos, pero la Ley no se limita a ellos. En Brasil la legislación es bastante más amplia y se centra en incrementar la participación de los biocombustibles en el mix energético nacional en el marco del desarrollo sostenible desde los tres ejes básicos económico, social y ambiental.

Similar, pero de alcance más limitado, son las Leyes de Colombia y Honduras. Plantean reducir la dependencia de combustibles fósiles e incrementar la auto-suficiencia energética del país. El objetivo de generar empleo y contribuir a la disminución de la contaminación ambiental, mediante la producción de biocombustibles, se recoge en la legislación de Colombia, Perú y Honduras.

Ligado a la creación de empleo, Perú y Colombia, establecen como objetivo de la Ley del Desarrollo del Mercado de Biocombustibles, a través del fomento a las actividades agropecuarias y agroindustriales. Para Perú además, es importante ofrecer un mercado alternativo a los cultivos ilícitos, en el marco de la lucha contra el narcotráfico.

Las leyes de Argentina y Bolivia no establecen objetivos específicos, pero de su lectura se desprende que, como los demás, apuestan por el desarrollo sostenible y la disminución de su dependencia de los combustibles fósiles.

La obligatoriedad de mezclar en un porcentaje determinado³⁶³ es un aspecto destacado en las regulaciones iberoamericanas sobre biocombustibles. Está muy relacionado con los objetivos y la finalidad de la Ley. Si el objetivo de la Ley es reducir la dependencia del petróleo, incrementar la independencia energética y disminuir las emisiones locales, es preciso producir y consumir biodiesel. Si el objetivo es fomentar la producción y el consumo nacional, es importante considerar que la obligatoriedad aseguraría la demanda local y los productores tendrían perspectivas a largo plazo. Entre los 4 principales productores de biodiesel de América Latina, Argentina, Bolivia, Perú y Brasil, cada país ha fijado diferentes porcentajes obligatorios de mezcla como se recoge en la Tabla 49.

³⁶³ “Porcentajes de mezclas mínimas obligatorias” que cada país se propone como meta a alcanzar en determinados periodos de tiempo para asegurar el consumo nacional.

Tabla 49.- Porcentajes de mezclas mínimas obligatorias de biodiesel

	ARGENTINA	BOLIVIA	PERÚ	BRASIL
2007 /2008		2,5% (biodiésel- diésel)		2% biodiésel- diésel
2010	5% Etanol- gasolina/ biodiesel- diésel		7,8% Etanol- gasolina 5% biodiésel- diésel	
2013				5% biodiésel- diésel
2015		20% biodiésel- diésel		

Fuente: Hernández (2008)

El fomento a la producción se realiza además a través de otros incentivos, bien a los productores o al sector industrial, normalmente centrados en exenciones fiscales y subvenciones al precio de los biocombustibles, a fin de hacerlos más competitivos frente a los combustibles fósiles.

Cada país presenta unas particularidades y esto se refleja en las legislaciones que regulan este tema. La mayoría reparten las competencias en diferentes Departamentos del Estado, dependiendo de las competencias de cada una. En general tienen un papel más relevante los Ministerios de Minas y Energías; Agricultura y Ganadería, Medio Ambiente, Economía, Industria y Comercio (Hernández, 2008).

También son frecuentes los órganos asesores que además de ser multidisciplinarios, debido a la transversalidad del tema, pueden estar integrados por Organismos públicos y privados.

A continuación se exponen los avances logrados por una serie de países de la región que han realizado una importante apuesta por los biocombustibles.

3.5.3.1. Colombia

El Gobierno colombiano mostró una rápida sensibilidad por la promoción de los biocombustibles con la temprana adopción de la Ley 693³⁶⁴ de Promoción del Bioetanol. Al deterioro ambiental de las ciudades a causa de la contaminación, se sumaba la preocupación por la seguridad energética nacional por el agotamiento de sus yacimientos de petróleo y las esperanzas en materia de empleo y desarrollo rural que se percibían en los biocombustibles.

La Ley establece que las competencias se comparten entre el Ministerio de Minas y Energía que regula la calidad y mezcla de biocombustibles; el Ministerio del Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial que se encarga de la evaluación de los impactos, y el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, competente en relación con el fomento de la producción de oleaginosas y el registro de nuevas plantaciones.

Se fija la obligación de que en centros urbanos de más de 500.000 habitantes las gasolinas deberán contener componentes oxigenados (alcoholes carburantes), pero los porcentajes los determina el Ministerio de Minas y Energía, es decir no existe una obligación cuantificada *a priori* de mezcla.

En ciudades menores de 500.000 habitantes no existe esta obligación, aunque el Gobierno tiene potestad para imponer el uso de mezclas si lo considera conveniente. La responsabilidad de la mezcla de etanol con el combustible fósil corre a cargo de los distribuidores habituales de gasolina y diesel que trabajan en condiciones de libre competencia.

El régimen fiscal colombiano contempla una exención de impuestos durante 10 años desde el comienzo de la producción, para los beneficios producidos por estos cultivos energéticos. Los productores agrícolas registran sus

³⁶⁴ Ley 693 de 2001 de 19 de septiembre, por la cual se dictan normas sobre el uso de alcoholes carburantes, se crean estímulos para su producción, comercialización y consumo, y se dictan otras disposiciones. DO n°. 44.pp 1-3. Disponible en: http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley/2001/ley_0693_2001.html

plantaciones ante el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural para demandar las exenciones establecidas en la Ley.

La Ley contempla además que para asegurar la sostenibilidad, las mezclas de etanol con gasolina se harán de acuerdo a los Reglamentos sobre control de emisiones y los requerimientos de saneamiento ambiental que, para cada región del país, establezca el Ministerio del Medio Ambiente.

En similares términos se plantea el Congreso la aprobación de la Ley No. 939³⁶⁵. El Decreto 1970³⁶⁶ aprueba el Reglamento de desarrollo de la Ley y establece los requisitos técnicos y ambientales del biocombustible para uso en motores diesel y sus mezclas con diesel de origen fósil, en base a las normas técnicas y los estándares fijados en la materia a nivel mundial.

En la Tabla 50, se recoge la situación de las plantas de producción de biodiesel en Colombia en 2009.

³⁶⁵ Ley No.939 de 31 de diciembre de 2004 por medio de la cual se subsanan los vicios de procedimiento en que incurrió en el trámite de la ley 818 de 2003 y se estimula la producción y comercialización de biocombustibles de origen vegetal o animal para uso en motores diesel y se dictan otras disposiciones. Disponible en: http://www.elabedul.net/Documentos/Leyes/2004/Ley_939.pdf

³⁶⁶ Decreto 1970 de 15 de junio de 2005 del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural "Por el cual se reglamenta parcialmente la Ley 939 de 2004". Disponible en: http://www.presidencia.gov.co/prensa_new/decretoslinea/2005/junio/15/dec2000150605.pdf

Tabla 50.- Plantas productoras de Biodiesel en funcionamiento

Región	Empresa	Capacidad (tn/Año)	Inversión (M€)	Área sembrada (ha)	Fecha entrada
Norte, Codazzi	Oleoflores	50.000	8,4	11.111	Enero 2008
Norte, Santa Marta	Odin Energy	36.000	9,2	8.000	Junio 2008
Norte Santa Marta	Biocombustibles Sostenibles del Caribe	100.000	13	22.222	Marzo 2009
Oriental, Facatativa	Bio D	100.000	31,5	22.222	Febrero 2009
Central, B/bermeja	Ecodiesel de Colombia	100.000	26,9	22.222	Diciembre 2009
Norte, Barranquilla	Clean Energy	30.000	9,2	7.000	Septre 2009
Oriental, San Carlos de Guaroa, Meta	Aceites Manuelita	100.000	32,3	22.222	Julio 2009
TOTAL		516.000	130,5	114.999	

Fuente: Ministerio de Minas y Energía, Colombia (2009)

En el año 2008, se puso en marcha una planta de producción de biodiesel a partir de la jatrofa en el municipio de Segovia (Antioquia-Colombia), mediante una iniciativa empresarial de 3 estudiantes de la Escuela Colombiana de Ingeniería. Demuestra que hay alternativas viables para aprovechar los cultivos sembrados en tierras marginales como materia prima para el desarrollo industrial, en este caso, la jatrofa. Con la inversión que precisa este proyecto se tenía previsto obtener unos 1.500 litros/día de biocombustible. Este proyecto se planteó como un compromiso de responsabilidad social en relación con las tecnologías limpias, los nuevos biocombustibles y los procesos productivos asociados con el medio ambiente, que ayudar a abastecer los mercados, generar empleos y a dar un uso eficiente a la tierra, más que como un ejercicio académico o de negocio.

En Colombia existen otras iniciativas relacionadas con la promoción de la *J. curcas* L. como la de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA) que ha puesto en el mercado recientemente la primera planta de

biodiesel fabricada en el país. Esta planta es multipropósito, es decir, solo basta mover una palanca y se adapta al procesamiento de 3 tipos de materias primas como aceite de palma, higuera o jatrofa (Hernández, 2008).

CORPOICA, con el apoyo del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, se encuentra llevando a cabo un programa de establecimiento de sistemas piloto para la producción de biocombustibles a pequeña escala (Domínguez, 2008).

3.5.3.2. México

Este País aprobó a finales de 2007 la “Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos”³⁶⁷ con el objetivo de poder llevar a la práctica el enorme potencial que encierra el país para la promoción de las energías renovables. En el año 2002 se llevó a cabo un balance nacional de la energía que puso de manifiesto que solamente el 11,6% de la energía procedía de fuentes renovables.

La forma más utilizada de bioenergía en México es el bagazo³⁶⁸ de caña que produce solamente un 2% de la energía final. La Ley, con un horizonte de 20 años, se plantea la introducción de combustibles renovables de manera paulatina y con el apoyo de la biotecnología agrícola y marina. El bajo impacto ambiental y la reducción de las emisiones se encuentran entre las 6 líneas de trabajo prioritarias que define la legislación, así como la compatibilidad con la tecnología actual de motores y la entrada progresiva en la cadena productiva y de consumo a nivel nacional.

Otro aspecto importante por el que se promocionan los nuevos combustibles es el tema de la calidad del aire. En México, el Gobierno Federal ha tenido que realizar un esfuerzo importante y grandes inversiones en los últimos años para poner en marcha programas de mejora de la calidad del aire en las áreas

³⁶⁷ Decreto de 13 de diciembre de 2007 por el que se expide la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos. Diario Oficial de la Federación de 1 de febrero de 2008. Disponible en: <http://www.oxfamMexico.org/sites/default/files/imagenes/doctos/agricultura/LPDB.pdf>

³⁶⁸ Residuo de (...) *op.cit*

metropolitanas, a través del establecimiento de límites a los principales contaminantes.

Por su parte, las actividades agropecuarias que tradicionalmente se han destinado a la seguridad alimentaria tienen que responder a los retos que demanda la sociedad mexicana y explotar su potencial energético. Hay que recordar que México se encuentra entre los 6 países que concentran el 65% de la producción de caña de azúcar mundial. La Ley también tiene detractores (Alanís y Mijares, 2008)³⁶⁹.

México, en el marco de su Ley, impulsa la investigación y el desarrollo de formas renovables de energía como los biocombustibles. Una de las especies más estudiadas por sus ventajas agronómicas e industriales es *J. curcas* L. (piñón), originaria de esta zona del mundo. El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) está llevando a cabo un programa de investigación para generar conocimientos y desarrollar tecnología de producción de materia prima para la elaboración de biodiesel a partir de diferentes especies y particularmente con *J. curcas* L. Para esto han identificado y cuantificado, a través de un sistema de información geográfica (GIS), las áreas con características de altitud, precipitación, temperatura y pendiente adecuadas para el establecimiento de plantaciones de piñón *Jatropha curcas* L (Zamarripa *et al.*, 2008).

El Centro de Investigación y Tecnología en Producción de Biodiesel ha construido un complejo, ubicado en Puerto Chiapas, cuya inversión es superior a 3 M€, que tiene capacidad para producir 20.000 litros/día de biodiesel, mediante el procesamiento de piñón sembrado en más de 10.000 ha de esta institución. El Gobierno del Estado proyecta la construcción de otros complejos similares. Los equipos instalados también están fabricados para procesar aceite crudo de palma, jatrofa y vegetal usado, mediante el proceso

³⁶⁹ “...una iniciativa débil que no contaba con fundamentos serios de los temas que ahí se tratan y a la cual no se le ha otorgado suficiente análisis, a pesar de los posibles impactos y controversias que una Ley de esta naturaleza podría causar.” Asimismo consideran que:“Podemos hablar de promover el desarrollo de bioenergéticos cuando se demuestre que realmente contribuyen a reducir las emisiones de GEI, cuando se traduzca en un balance energético positivo, cuando los cultivos y plantaciones con propósitos bionergéticos sean manejados dentro de un marco de una agricultura sustentable”.

de des acidificación y engomado de aceite, que comenzó a operar en 2009. El Centro dispone de almacenamiento, equipo y laboratorios de control de calidad y sistemas de análisis, y funciona gracias a un convenio de cooperación, a escala Federal, entre México y Colombia ³⁷⁰

3.5.3.3. Argentina

El Congreso Nacional Argentino aprobó en mayo de 2006 la Ley 26.093³⁷¹ sobre “biocombustibles, que regula la producción y uso sostenible de los biocombustibles, las normas de calidad y los requisitos y condiciones de producción”. Se crea una Comisión Nacional Asesora de las Autoridades responsables de la promoción de los biocombustibles.

Estas son: el Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios (Secretaría de Energía), para todos los aspectos de la Ley, excepto para cuestiones de índole tributaria, que corresponden al Ministerio de Economía y Producción. Además, tienen competencias específicas la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca con relación a cultivos energéticos (agropecuarios); la Subsecretaría de Pequeña y Mediana Empresa, con relación a la adquisición de bienes de capital y la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, con relación a investigación, cooperación y transferencia tecnológica.

La Ley fija un mínimo obligatorio de mezcla a partir del cuarto año de su promulgación (2010), un 5% de etanol con gasolina y el 5% de biodiesel con diesel. Para efectuar las mezclas, las instalaciones aprobadas deben adquirir los biocombustibles de las plantas que hayan sido debidamente habilitadas a este efecto.

En Argentina se exime del impuesto al valor añadido (IVA) y el impuesto a las ganancias, en relación con la adquisición de bienes de capital o la realización

³⁷⁰ Disponible en: www.excelsior.mx.com.

³⁷¹ Ley 26.093 de 12 de mayo de 2006 de Biocombustibles. Régimen de Regulación y Promoción para la Producción y Uso Sustentables de Biocombustibles. Disponible en: http://www.argentinarenovables.org/archivos/leyes/argentina/ley_26093.pdf

de obras de infraestructura correspondientes a proyectos de inversión de biocombustibles, durante el tiempo de vigencia de este régimen especial (15 años, contados a partir de 2006). Además, el biodiesel y el bioetanol no están sujetos a la tasa de infraestructura hídrica ni al impuesto sobre los combustibles líquidos y el gas natural, ni al impuesto sobre la transferencia a título oneroso o gratuito o sobre la importación de gasoil.

La sostenibilidad ambiental de estos proyectos se controla mediante la obligación que establece la Ley de que todas plantas productoras de biocombustibles deberán someterse a un procedimiento de “evaluación de impacto ambiental” que incluya tratamiento de efluentes y gestión de residuos. Además, todos los proyectos calificados y aprobados por la Autoridad se beneficiarán de los mecanismos de reducción de emisiones, créditos de carbono y cualquier otro del Protocolo de Kioto.

Como protección de sitios de especial interés ambiental establece que los Departamentos del Estado y las empresas privadas que se encuentren ubicadas sobre vías fluviales, lagos, lagunas, parques nacionales o reservas ecológicas deberán utilizar biodiésel, bioetanol o biogás sin mezclas a partir del cuarto año de promulgación de la Ley o en porcentaje establecido por la Autoridad.

Sobre regulación de precios, la legislación establece que los precios de los biocombustibles serán fijados oficialmente y que las instalaciones aprobadas para realizar la mezcla deberán adquirir los biocombustibles a los sujetos beneficiarios del régimen promocional.

En Argentina, se ha sembrado una de las plantaciones de *J. curcas* L. más grandes del mundo para obtención de semillas oleaginosas. La explotación se lleva a cabo por parte de inversores privados (Cultivos Energéticos SRL) que aportan el soporte técnico y sus conocimientos sobre la genética de esta especie.

En el terreno rural en el cual se está efectuando la plantación de *J. curcas* L., se descubrió la presencia de la *Jatropha macrocarpa*, lo que indica que las

condiciones del terreno y clima es propicio para el desarrollo de estas euforbiáceas.

En base a la calidad de plantas colocadas y a la experiencia que se tiene, se espera que la plantación rinda tras su tercer año la cantidad de 3 kg de semillas por árbol, por lo que anualmente daría una cosecha aproximada de 5000 kg. Considerando que con las modernas prensas que actualmente existen en el mercado y con el sistema técnico empleado (como en el Noreste de Brasil), se puede llegar a obtener la cantidad de 1900 litros de aceite vegetal de jatropa/ha ³⁷².

3.5.4. Promoción de la *Jatropha curcas* L. en Asia.

En Asia, los países que más fuertemente han apostado por los biocombustibles son los que componen las regiones del sur y el este del continente. Todos ellos son importadores netos de petróleo por lo que cualquier fuente de energía renovable que sea propia puede jugar un papel muy importante para reducir esa dependencia de las importaciones de crudo y catalizar el desarrollo económico rural.

El Sur de Asia es un área de 5,1 Mha en la que viven 1.500 M de personas, que está sufriendo un rápido crecimiento económico. Como resultado del mismo, la demanda de energía primaria se ha incrementado el 64% desde 1991, alcanzando los 584 Mt en 2004. Por ello, los biocombustibles líquidos pueden tener un papel fundamental. Los cultivos energéticos perennes como la *Pongamia pennata* y la *J. curcas* L., cuyo aceite no es comestible, pueden suponer una doble ventaja para remediar los problemas de degradación ambiental y la crisis del petróleo en los países asiáticos densamente poblados (Raju, 2006).

³⁷² Disponible en www.jatrophacurcasweb.com.ar/

En el año 2007, se adoptó la Declaración de Cebu³⁷³ sobre la “seguridad energética en el este de Asia”, que alienta a la estandarización y se creó la Iniciativa “*energía limpia y crecimiento sostenible*” que incluye la promoción de la energía procedente de la biomasa. Así, como en otras partes del mundo, los países asiáticos están promoviendo la introducción de biocombustibles (Tabla 51), aunque están muy preocupados por la baja calidad del biodiesel obtenido que afecta al funcionamiento de los motores, por lo que el establecimiento de estándares es fundamental (Goto *et al.*, 2008).

Tabla 51.- Introducción de Biodiesel en el Sudeste asiático

País	% de mezcla	Cultivo	Objetivo
Malasia	2-5%	Palma	Política Nacional de Biocombustibles, 2006/ B5
Indonesia	-	Palma	Programa Nacional de Energía Uso de 47 M de Kl en 2025
Tailandia	5%	Palma	Estrategia de promoción y desarrollo del BD: B2 en 2008 B5 en 2011 B10 en 2012
Filipinas	1% 100%	Coco	Estrategia de biocombustibles 2006/ BD 1% en 3 meses 2% en 2 años

Fuente: Goto *et al.*, 2008

Muchos países asiáticos, como Filipinas, Tailandia, Indonesia, Japón, China y la India, han iniciado sus programas de promoción de biodiesel pero se encuentran en diferentes etapas de desarrollo. Filipinas ha lanzado el programa COCODIESEL que utiliza un derivado del aceite de coco. Tailandia está desarrollando rápidamente el “gasohol” que es una mezcla de gasolina y etanol obtenido de cultivos vegetales, que se encuentra en las etapas experimentales. Por su parte, Malasia, que es el mayor productor del mundo de aceite de palma, está estableciendo un conjunto de iniciativas para promover el biodiesel obtenido de dicho cultivo. Algo similar ocurre en Indonesia como primer productor mundial de aceite de palma. Por su parte

³⁷³ Disponible en www.aseansec.org/19319.htm

China es actualmente el tercer productor mundial de bioetanol, aunque solamente una pequeña parte es utilizada como combustible. No obstante están desarrollando un programa de 5 años patrocinado por el Estado (Raju, 2006).

En esta región del mundo la gran producción de etanol procede de la India y de Pakistan. Es muy reciente su utilización como combustible. Es muy importante establecer regímenes legales que apoyen la promoción de los biocombustibles a través de las mezclas obligatorias. Con ello también se asegura la producción regular y cada vez más viable económicamente que posibilite la eliminación gradual de subsidios.

Para el futuro, aunque se disponga de la tecnología, el apoyo político y la demanda de estos combustibles, es fundamental asegurar la materia prima. Así, es preciso trabajar más en prácticas agronómicas validadas y de calidad, en el potencial de la cosecha, enfermedades, plagas y requerimientos hídricos. Se han producido numerosos programas fallidos probablemente por incorrecta elección de especies y de condiciones climáticas adecuadas. Estos son dos aspectos fundamentales: (1) hay que canalizar programas de investigación extensivos de manera que los Gobiernos identifiquen los recursos existentes y los cultivos locales más adecuados para producir biodiesel, y (2) implicar en ellos a la población rural y especialmente a las mujeres organizadas en sus “grupos de auto ayuda”, ya que esto supone una triple ganancia, para el medio ambiente por la conservación y uso de especies locales, para la población rural que mejora su economía familiar y para el Gobierno que genera empleo en este medio. Esto sin olvidar los beneficios intangibles de una buena elección, como son el uso de un combustible que reduce las emisiones de CO₂, la recuperación de tierras marginales que tiene un impacto positivo en la hidrología, la contención de la degradación del suelo y de la deforestación y la mejora de la sostenibilidad de los ecosistemas (Raju, 2006).

No obstante, en este continente, el país que más fuertemente ha apostado por el cultivo de *J. curcas* L. para la producción de biodiesel es la India (Apartado 3.1.3.2.2)

3.5.5. Estudio económico del cultivo de *Jatropha curcas* L. para producir biodiesel

En relación con los costes de la producción de biocombustibles en los países en desarrollo, en realidad existen pocas cifras publicadas. Las Tablas 52 y 53 muestran las diferencias entre los costes actuales estimados y los proyectados de producción de biocombustibles respectivamente, y los precios en el mercado de los combustibles fósiles. Se consideran los distintos contenidos energéticos del bioetanol, biodiesel y combustible fósil: se requiere 1,09 litro de biodiesel para sustituir 1 litro de diesel, mientras que en el caso del bioetanol, es preciso 1,49 litros para sustituir 1 litro de gasolina (Peters, 2008).

Tabla 52.-Coste actual de producción de biocombustibles en euros

	Coste de producción actual (€/litro)	Precio de mercado del combustible fósil (€/litro) (2004)	Diferencias (€/litro)
India			
Bioetanol	0,5-0,51	0,33	0,17-0,18
Biodiesel	1,07-2,1	0,36	1,34-1,74
Tanzania³⁷⁴			
Biodiesel	1,71-1,83	0,36	1,35-1,47

Fuente: Peters (2008)

Tabla 53.- Coste proyectado de la producción de biocombustibles en euros.

	Coste de producción (€/litro)	Precio de mercado del combustible fósil (€/litro) (2004)	Diferencias (€/litro)
India			
Bioetanol	0,5-0,53	0,33	0,17-0,20
Biodiesel	0,31-0,97	0,36	-0,04- 0,50
Tanzania			
Bioetanol	0,46-0,53	0,33	0,13-0,20
Biodiesel	0,53-0,61	0,36	0,17-0,25

Fuente: Peters (2008)

³⁷⁴ No existen datos de coste de producción de bioetanol en Tanzania. Los datos de biodiesel corresponden a la utilización de aceite de *Jatropha curcas* L.

Estos costes de producción se han observado también a menor escala. Es evidente que dependen del marco político y de las inversiones en este sector. Si el Gobierno promueve la producción a gran escala, los costes variarán bastante. Otro factor crítico es la investigación agrícola para obtener semillas de mayor rendimiento.

Los datos de la Tabla 52 y 53 utilizan los estudios de campo realizados por un Instituto de Alemania³⁷⁵, en países del este de África en 2005. En ambos casos se refieren a producción a gran escala. En este sentido hay que ser cauto, ya que esto no implica que los costes de producción vayan a ser inferiores. Existen otros factores críticos para calcular los costes como el tipo de cultivo utilizado y su rendimiento que lógicamente dependerá del tipo de suelo y de las condiciones climáticas (Peters, 2008).

De estos estudios podemos extraer dos conclusiones: (1) *el margen de variación del coste producción del biodiesel es amplio*, especialmente en la India debido a la alta variabilidad de la producción de jatrofa y (2) *que los costes de producción estimados son bastante optimistas* debido a que por ejemplo en la India, el coste estimado de producción de biodiesel puede llegar a ser inferior al precio del diesel. Está claro que las condiciones climáticas favorables y la mano de obra barata pueden suponer unos costes de producción de biocombustibles razonables en muchos países en desarrollo. No obstante, parece claro que la reducción de las emisiones de GEI, hoy por hoy no justifica la promoción del uso doméstico de biocombustibles en países en desarrollo ya que existen otras opciones más adecuadas.

Dado que el enfoque político está en el empleo en el medio rural, debe tenerse en cuenta el *uso de la biomasa para producir electricidad*, que es muy necesaria en todas aquellas áreas que confían la producción de electricidad a los generadores diesel (Peters, 2008).

Hay muchos cultivos de crecimiento rápido que pueden tener un comportamiento bastante más adecuado a la hora de fabricar biocombustibles,

³⁷⁵ GTZ: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (Instituto Alemán de Cooperación Técnica)

en cuanto a los costes de producción, efectos ambientales y uso de la tierra (Fronde y Peters, 2007).

En 2005, varios Gobiernos de países en desarrollo solicitaron al ESMAP³⁷⁶ una evaluación socio-económica de la producción de los biocombustibles. La evaluación concluyó que debido a los altos costes de producción del biodiesel, el etanol ofrece mayor viabilidad comercial, siendo la caña de azúcar el cultivo más efectivo y productivo en cuanto a costes en el momento en que se llevó a cabo el estudio, como demostraba la experiencia de Brasil. No obstante, también se extrajo la recomendación de que una evaluación comprensiva del potencial de los biocombustibles requiere que los países concernidos examinen cuidadosamente una serie de factores como:

- Diferencias de coste esperadas entre combustibles fósiles y biológicos.
- Disponibilidad de tierras y posibles competencias por el uso de las mismas.
- Condiciones agrícolas y ambientales tales como la disponibilidad de agua, requerimiento de fertilizantes y calidad del suelo.
- Conocimiento tecnológico y potencial para enfocarse en biocombustibles de segunda generación
- Relevancia de los impuestos a los combustibles para el presupuesto nacional.

El coste de la materia prima para la producción de biodiesel representa entre el 60 y el 80%. Cuando se trata de aceites comestibles, el coste es mayor por la competencia con el aceite destinado al consumo humano. Por este motivo, en países en desarrollo se está centrando la producción a partir de aceites no comestibles como la jatrofa que es la que presenta mayores ventajas en términos socioeconómicos y ambientales.

En otro estudio (Henning, 2008) llevado a cabo en Camboya sobre cultivo de jatrofa, se ha visto que la viabilidad económica de este cultivo depende mucho

³⁷⁶ ESMAP es un programa global de asistencia técnica gestionado por el Departamento de Energía y Agua del Banco Mundial que promueve el papel de la energía en la reducción de la pobreza y el crecimiento económico de una forma responsable desde el punto de vista ambiental. Su trabajo se dedica especialmente a las economías de menores ingresos, emergentes o en transición y contribuye al logro de los objetivos globales de desarrollo.

de la zona de siembra y por tanto de la situación local. En la Tabla 54 se recogen las estimaciones realizadas para el cultivo en dicho País:

1. El rendimiento de las plantas depende de las propiedades genéticas y del medio donde se siembra (sales minerales, agua y temperatura)
2. El coste de producción del aceite de jatrofa depende mucho del coste del laboreo (la media son 2 h. de trabajo/1 litro de aceite)
3. Todavía no es posible la cosecha mecánica porque es un arbusto con muchas ramas y porque al mismo tiempo puede tener flores y frutos maduros y no maduros.
4. El MDL es muy complicado y caro, de manera que es solamente aplicable para grandes plantaciones.

Tabla 54.- Estimación económica de la producción de aceite de *Jatropha curcas* L. en Camboya

(Plantación Mr. Hak, Banteay Meanchey) No incluye coste de la plantación + almacenaje+ transporte		
Datos básicos		
Horas trabajo/día	8	horas/día
Días de trabajo/semana	5	días/semana
Semanas trabajo/año	45	semanas
Días de trabajo/año	225	días/año
Salario mínimo diario	0,9	€/día
Salario mínimo a la hora	0,11	€/hora
Precio del kg de semillas jatrofa	0,06	€/kg
Índice de extracción con extractor mecánico: kg semilla/1 aceite	4,55	litro/kg semilla
Consumo de diesel del extractor	2,0	litro/hora
Capacidad de extracción	250	Kg semilla/hora
Porcentaje de extracción	22	%
Porcentaje de producción	55,0	litro aceite/hora
t. de extracción de 1 l. aceite	0,04	horas
Personas manejando el extractor	2	personas
Tiempo extracción (compra repuestos + transporte semilla y aceite	0,25	horas/litro
Precio local del extractor	1.150	€
Precio del combustible	0,6	€/litro
Tiempo de vida del extractor	10	años
Coste de producción del aceite con extractor/sin plantación, almacenaje y transporte)		
Adquisición de semillas + coste	0,39	€

tiempo de trabajo para extraer 1 litro		
--	--	--

Más recientemente (SNV-WWF, 2009) se ha publicado un estudio socio-económico realizado en la Amazonía peruana sobre la producción de jatrofa (Piñón blanco) para producir biodiesel. El estudio que analiza los impactos socio-económicos de la producción de biocombustibles en la Amazonía peruana, presenta una primera aproximación de los beneficios económicos y los riesgos que representa el desarrollo de esta actividad, la misma que viene experimentando un crecimiento importante en los últimos años.

Los biocombustibles representan una posibilidad de sustituir los combustibles fósiles derivados del petróleo con combustibles renovables capaces de competir en precio y calidad con combustibles tradicionales. A pesar de la caída de sus precios en el año 2008, a largo plazo representan una tendencia creciente en precios y un mercado que se ve alentado por los porcentajes obligatorios de mezcla establecidos por los distintos países.

El estudio se ha concentrado en el análisis de tres escenarios representativos y existentes de producción de biocombustibles en la Amazonía peruana: producción de caña de azúcar para la elaboración de etanol hidratado en microdestilería; producción de palma aceitera para biodiesel en una sociedad y en empresa privada, y producción de Jatrofa en tierras deforestadas o erosionadas, en un modelo asociativo entre empresa privada y pequeños productores³⁷⁷. El cultivo de piñón blanco o jatrofa es un cultivo prometedor, aunque no validado, como materia prima para la producción de biodiesel. Está todavía en pleno desarrollo, las plantaciones se encuentran en los primeros años de producción, con parcelas de investigación adaptativa, con material de alta variabilidad. Entre sus principales ventajas se encuentra que no compite con un uso alimentario y su adaptabilidad a áreas degradadas, por lo que no genera competencia a las áreas destinadas a la producción de cultivos alimentarios. Su principal desventaja es el poco conocimiento que se tiene sobre variedades y rendimientos, lo que incrementa el riesgo de variabilidad que tiene, por lo que promoverlo entre los agricultores, de manera masiva,

³⁷⁷ Por ser la jatrofa el cultivo que nos interesa a efectos de este trabajo, nos centraremos exclusivamente en los aspectos socio-económicos del mismo.

podría generar frustración por obtener resultados diferentes a los que se producen en un ambiente controlado. Este cultivo no debería promoverse a gran escala hasta no disponer de un paquete tecnológico y rendimientos validados a nivel local.

Estos cultivos energéticos presentan la posibilidad de generar abundante mano de obra. La rentabilidad de la mano de obra en el cultivo de palma aceitera es muy superior a los demás cultivos energéticos estudiados pero presenta competencia con el uso del aceite para alimentación.

El piñón blanco presenta una calidad de empleo que garantiza que el productor pueda salir de la pobreza. Un agricultor independiente puede manejar 2.8 ha de jatrofa por lo que una familia típica de la Amazonía podría hacerse cargo de hasta 6 ha. El cultivo de piñón requiere una inversión inicial de 1,176 US\$/ha³⁷⁸. La producción se inicia a partir del 7° mes de implantado el cultivo, con un volumen producido en el primer año de 0.5 tn/ha, alcanzando un máximo en el 6° año con 7.6 tn/ha/año. A una tasa de descuento del 14% a los costes reportados para tecnología media, el cultivo presenta un valor actual neto de US\$ -151 esperando que el cultivo muestre rentabilidad con la asociatividad con cultivos alimenticios que se viene estudiando. Considerando un precio promedio de US\$ 195/tn de semilla, tenemos que el cultivo del piñón blanco puede generar, a partir del 6° año, un ingreso diario per-cápita de US\$ 4, lo que permitiría estar por encima del umbral de la pobreza, estimado en US\$ 2 per-cápita diario, sin considerar aún los ingresos que generará la asociación con cultivos alimenticios, la venta de subproductos (como miel y fertilizantes orgánicos) y las posibilidades del mercado de carbono.

³⁷⁸ Se expresa en dólares USA por referirse el estudio a la posibilidad para estas comunidades de salir de la pobreza y habitualmente dichos umbrales se expresan en esa moneda.

Tabla 55. Rendimiento proyectado de cultivo de jatrofa en la Amazonía

CONCEPTO	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6
Producción (tn/ha/año)	0.5	3.2	4.9	6,2	7,2	7,2
Rendimiento de la mano de obra (kg)	90	120	150	180	200	210

Fuente: SNV (2008)

De acuerdo con la cantidad de jornales que requiere todo el ciclo del cultivo, si se cultivara jatrofa se obtendría una rentabilidad anual de US\$ 1,017.

De los tres cultivos analizados, la jatrofa es la que presenta menos rentabilidad hasta que alcanza su etapa máxima de crecimiento. Sin embargo, su potencial de desarrollo en tierras deforestadas y el hecho de no competir con la seguridad alimentaria, hace necesario a continuar las investigaciones para lograr un paquete tecnológico, que permita la reducción de sus costes, hasta hacerlo rentable. Por otro lado, es importante considerar este cultivo como una alternativa productiva integral; el cultivo permanente permite la siembra de cultivos asociados en los primeros años (como girasol, maíz, cacahuete, habas y tomate, entre otros), así compartiendo los costes de instalación entre diferentes cultivos y absorbiendo las pérdidas de los tres primeros años. La asociación con el cultivo de maíz, puede resultar una solución a largo plazo frente a la práctica de la agricultura migratoria, principal responsable de la tala de bosques en la Amazonía peruana.

Este comportamiento se explica por la disponibilidad de frutos en las plantas. Los valores mencionados son los promedios reportados y probados en parcelas de cultivos privados. El alto costo de la cosecha, que se puede justificar al principio durante el desarrollo del paquete tecnológico, para dar ocupación a la mano de obra del campo; requerirá de mecanización para el cultivo a gran escala, ya que el método de colección manual generará carencia de mano de obra y le restará competitividad a la actividad, motivo por el cual se tienen que

reducir los costos de producción, para lograr que el cultivo de jatrofa sea rentable. Es aconsejable que en los primeros años se practique la combinación con otros cultivos, para absorber los costes de instalación y se neutralicen las pérdidas de los tres primeros años. El cultivo de maíz, puede resultar una solución perdurable a la práctica de la agricultura. Lo que además queda claro, es que el cultivo de piñón, como cualquier otro cultivo, requiere de un correcto manejo agronómico, es susceptible de ataque de plagas y enfermedades y sufre los estragos de las sequías prolongadas. Aunque se ha probado que puede sobrevivir en áreas con baja fertilidad, se ha evidenciado que requiere un paquete de manejo que le de las condiciones ideales para su desarrollo, para lograr que la planta exprese su potencial genético³⁷⁹.

³⁷⁹ Hay que señalar que en este modelo de costes y beneficios, no se incluyen todavía los potenciales ingresos por la venta de subproductos, como los cultivos alimenticios asociados, la torta de extracción de aceite (fertilizante, biogas) o la miel de abeja en el caso de que se instalen colmenas para la polinización.

Tabla 56. Análisis de rentabilidad por hectárea del cultivo de jatrofa

Concepto	Años del proyecto											
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	12 a 25
Ingresos (por venta de grano seco)	283	1.810	2.771	3.506	4.298	4.298	4.298	4.298	4.298	4.298	4.298	4.298
Gastos	3.412	2.922.	2.923	3.046	3.080	3.226	3.244	3.226	3.244	3.244	3.244	3.244
Mano de obra	1.793	1.380	1.365	1.500	1.530	1.635	1.635	1.635	1.635	1.635	1.635	1.635
Insumos y materiales	1.157	1.122	1.122	1.042	1.042	1.042	1.042	1.042	1.042	1.042	1.042	1.042
Costes indirectos	462	420	435	503	508	549	567	549	567	567	567	567
Costes financieros ³⁸⁰	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Utilidad antes de impuestos	-3130	-1112	-152	460	1.217	1.071	1.054	1.071	1.054	1.054	1.054	1.054
% Rentabilidad neta anual	0.00	0.00	0.00	13.13	28.32	24.93	24.51	24.93	24.51	24.51	24.51	24.51

Fuente: Tello (2009) a partir de información de INIA.

El cultivo con los costes que se presentan sería viable a partir de una productividad de 7.9 tn/ha/año, a partir del quinto año. Bajo esas condiciones se esperaría una utilidad anual de US\$ 422.

³⁸⁰ No proceden puesto que no se solicitó crédito para el proyecto

3.5.6. *Jatropha curcas* y equidad: la visión humanista de Amartya Sen

Amartya SEN, premio Nobel de Economía 1998, sostiene que el aumento de los subsidios a la producción de granos para elaborar biocombustibles es un hecho de profundas repercusiones y que afecta a los más pobres. Al mantenerse elevada la cotización del petróleo, el precio de las materias primas se encarecerá, y con él, el acceso a los alimentos de la población con menos recursos.

Este autor (Sen, 2009)³⁸¹ ha profundizado y escrito numerosos ensayos sobre la justicia social y considera que: "... hay algo muy atractivo en la idea de que cualquier persona, en cualquier parte del mundo con independencia de su ciudadanía, residencia, raza, clase, casta o comunidad, tiene ciertos derechos básicos que los otros deben respetar. La gran atracción moral de los derechos humanos ha sido empleada para una variedad de propósitos, desde resisitir a la tortura, la detención arbitraria y la discriminación racial, hasta exigir el fin del hambre y la desatención médica a lo largo y ancho del planeta. Al mismo tiempo, la idea básica de los derechos humanos, que se supone que las personas tienen por el simple hecho de ser humanas, es considerada por muchos críticos como carente por completo de fundamento razonado. Las cuestiones que se repiten son: ¿existen estos derechos? ¿De dónde vienen?"

Está claro que la invocación de los derechos humanos como creencia general es bastante atractiva y políticamente efectiva, pero existen muchos filósofos que incluso hoy en día no le ven suficiente fuerza intelectual, y de hecho no es nueva la diferencia entre la teoría y la práctica. Evidentemente los activistas de los derechos humanos se muestran muy impacientes con este escepticismo intelectual ya que ellos sienten la necesidad de cambiar el mundo y no de interpretarlo, dada la terrible urgencia de responder a las grandes carencias que plagan la tierra (Sen, 2009).

³⁸¹ En la actualidad es miembro del Panel de Consultores de los Informes sobre el Desarrollo Humano de las NN.UU.

Amartya SEN ha tratado de concienciar a las instituciones internacionales y financieras más importantes sobre la necesidad de que las políticas de ajuste y estabilización a implementar en los años 80 fueran más sensibles a las cuestiones sociales, a la luz del impacto negativo que dichas políticas habían tenido sobre los grupos más vulnerables. Su enfoque del *desarrollo como libertad*³⁸² fue recogido por primera vez por el PNUD en 1991 en su “informe sobre el Desarrollo Humano”³⁸³ que proponía líneas de acción concretas para ser adoptadas por el FMI, como la creación de una nueva guía para las políticas de esta institución. Si bien el documento poseía un espíritu de concienciación en torno a las cuestiones sociales, todavía se apreciaba una visión bastante economicista de la ayuda social: no se la considera un fin en sí misma, sino un medio para lograr un mejor crecimiento económico. En esos momentos no se había salido de la lógica económica en la forma de ver la problemática del desarrollo. No obstante, desde 1995 (Pender, 2001) ha descrito que se ha producido un cambio en las instituciones financieras internacionales que han pasado a incluir en sus informes aspectos de equidad y justicia social (Edo, 2002).

Otros autores consideran que se trata solamente de una declaración de principios y que en el fondo no se ha dado ningún cambio sustancial³⁸⁴.

³⁸² *Definición del desarrollo como libertad*. El corazón del enfoque de Sen es su innovadora forma de concebir al desarrollo. Según sus propias palabras, “...el desarrollo puede concebirse (...) como un proceso de expansión de las libertades reales de las que disfrutaban los individuos.”. Es decir que el desarrollo no debe medirse con otro indicador que no sea el aumento de las libertades de los individuos.

³⁸³ Disponible en: http://hdr.undp.org/en/media/hdr_1991_es_indice.pdf

³⁸⁴ Sergio PEREIRA LEITE era el director asistente de la Oficina del FMI en Europa cuando publicó, en septiembre de 2001, un artículo en el que sugería que sería bueno que el FMI tomara en cuenta las contribuciones de Amartya Sen en las políticas implementadas por esa organización.

En resumen de todo lo expuesto, esta Tesis Doctoral constituye un trabajo original desarrollado a lo largo de cuatro años. Se ha realizado un estudio y análisis de la sostenibilidad de los biocarburantes o combustibles procedentes de la biomasa destinados al transporte. La hipótesis de partida es que aquellos que no compiten con la producción de alimentos constituyen hoy en día una alternativa de gran importancia para cubrir la demanda de energía y asegurar la independencia energética de los países en desarrollo, sin comprometer su soberanía alimentaria.

El interés de los combustibles alternativos, bioetanol, biodiesel y biogas principalmente, que han cobrado gran interés en los últimos veinte años, surge a partir de tres premisas principales: (1) contribuir a la reducción de las emisiones de GEI, objetivo general de todos los países para cumplir los compromisos internacionales en materia de cambio climático; (2) la necesidad de reducir la dependencia del petróleo, cuyas reservas parece que están llegando a su fin, y por último, (3) la necesidad de aumentar el porcentaje de energías renovables dentro del conjunto de opciones energéticas que adopta un País para asegurar su suministro, de modo que se facilite su independencia energética.

Para situar a los biocombustibles en su contexto, se ha realizado un análisis previo en la Introducción desde sus aspectos generales a los particulares. En primer lugar se ha analizado el cambio climático y la situación actual de los compromisos internacionales en esta materia, que han conducido al fomento del uso de biocombustibles en el transporte por sus menores emisiones de GEI como sustitución de los carburantes tradicionales. En segundo lugar se ha revisado la evolución de los combustibles alternativos desde las primeras experiencias realizadas a principios del siglo XX hasta los avances en el desarrollo de nuevos productos más competitivos, pero más sostenibles ambiental y socioeconómicamente. Finalmente, se analizan los principales enfoques adoptados en el ámbito mundial para asegurar su sostenibilidad. En este sentido, la legislación europea no se circunscribe al ámbito comunitario sino que hace extensivo el estudio a las economías más vulnerables.

Seguidamente, la presente Memoria aborda en Capítulos el análisis de las políticas y estrategias adoptadas por las economías mundiales más importantes y organismos internacionales, tras la crisis provocada por la fuerte subida del precio de los alimentos en la primera década de este siglo. Se han presentado, en el ámbito europeo, las políticas de promoción de los biocombustibles y la extensa normativa que ha desarrollado la Unión Europea para tratar de asegurar la sostenibilidad de su uso a través del enfoque “*from well to wheel*” (del pozo a la rueda), es decir a lo largo de todo su ciclo de vida evitando así que se produzcan efectos indeseados en terceros países

El trabajo de investigación se ha centrado en la especie vegetal tóxica, la *Jatropha curcas* L, que posee una amplia distribución mundial en climas tropicales y sub-tropicales y cuyo uso se está fomentando como fuente de uno de los principales biocombustibles, el biodiesel, especialmente en los países en desarrollo.

Se ha llevado a cabo la caracterización toxicológica de esta especie que contiene principios activos con múltiples usos: medicinales, cosméticos y fitosanitarios, entre otros. El nombre “*Jatropha*” deriva del griego (jatros= doctor y trofos= alimento) lo que da idea de su importancia como planta medicinal.

Se evalúa la caracterización toxicológica de los productos de transformación de la *Jatropha curcas* L. (biodiesel, glicerina, torta proteica), así como su posible interés económico y sus efectos para el medio ambiente. Finalmente, se ha estudiado las repercusiones del fomento de su utilización que puede favorecer el desarrollo rural y la diversificación del aporte energético en los países más pobres, como aspectos de gran repercusión económica y social.

4. CONCLUSIONES

Las Conclusiones que a continuación se enumeran, recogen las respuestas a los objetivos del trabajo, a las que hemos llegado tras el estudio analítico de estos productos y sus condicionantes socioeconómicos y ambientales:

1. La especie *Jatropha curcas* L., constituye un buen ejemplo práctico para el estudio de los biocombustibles de primera generación. Su elección elimina el efecto distorsionante que supone el análisis de la utilización de variedades vegetales que participan en la cadena alimentaria y a su vez son fuente de biocombustibles.
2. Las emisiones de GEI producidas por los medios de transporte suponen, de acuerdo con numerosos estudios, hasta un 40% del total mundial de emisiones, fundamentalmente por la combustión de los carburantes derivados del petróleo. La obtención de energía primaria procedente de fuentes renovables con menor nivel de emisiones, se ha convertido en uno de los desafíos de la comunidad internacional.
3. La producción de biocombustibles o carburantes elaborados a partir de materia orgánica, puede jugar un papel muy importante en la reducción de la dependencia del petróleo, cuyas fluctuaciones de precios produce efectos negativos en la economía de los países más pobres.
4. El fomento del uso de los biocombustibles para el transporte es un aspecto clave para aumentar el porcentaje de energías renovables en el mix energético y cumplir los compromisos internacionales de cambio climático en el marco del “Protocolo de Kioto”, si se asegura su sostenibilidad ambiental, social y económica. No obstante, su empleo debe guardar un equilibrio entre los beneficios obtenidos y los recursos utilizados en su producción respetando el balance ambiental.
5. En relación con la promoción de los biocarburantes, se considera necesario un marco regulatorio adecuado que ofrezca seguridad jurídica

a los operadores, permitiendo a la vez una adecuada planificación económica y empresarial. En ese sentido, la legislación debe fijar objetivos mínimos obligatorios de producción, un umbral de utilización y un régimen fiscal adecuado que impida distorsiones en el mercado.

6. Se precisa más investigación sobre los aspectos económicos y su relación con los mercados agrícolas, sobre los costes ambientales y los posibles beneficios de la producción, según los diferentes cultivos utilizados, y sobre un amplio rango de otras alternativas energéticas, especialmente aquellas que pueden acelerar el desarrollo científico y tecnológico de los biocombustibles de segunda generación.
7. El acervo legislativo de la Unión Europea cubre los aspectos de la promoción, sus especificaciones técnicas y las medidas fiscales de acompañamiento en un marco comunitario de tasas y precios regulados. Sin embargo el enfoque “from well to wheel”, combinado con los objetivos de la Directiva 2003/30/CE de 8 de mayo, relativa al fomento de los biocarburantes, que se han demostrado poco realistas en su concepción inicial, ha tenido efectos contraproducentes para la estabilidad de los precios agrícolas, ya que no se ha producido una adaptación de hecho de la Política Agrícola Común (PAC) que garantizara una producción mínima comunitaria de materias primas agrícolas, (coexistiendo de hecho con políticas activas de abandono de la producción agraria), que ha abocado a una especulación en los mercados y a la pérdida de los mecanismos públicos de regulación tradicionales (almacenamientos públicos de cereales, alcoholes y grasas).
8. La especie tóxica de origen subtropical *Jatropha curcas* L. (nuez purgante) de la familia de las Euphorbiaceae, originaria de América Central, que es capaz de crecer en terrenos degradados, con pocas exigencias hídricas, de rápido crecimiento y con alta producción de semillas, es una buena alternativa a otros cultivos energéticos destinados a la obtención de biodiesel por no competir con la producción de alimentos.

9. Las semillas de nuez purgante contienen un aceite no comestible con contenido en AGL cercano al 60% - dependiendo de la variedad, de las condiciones climáticas y principalmente de la altitud en la que crece. La planta presenta actividad tóxica aunque es muy utilizada por las propiedades terapéuticas de sus distintos componentes. Los factores tóxicos y antinutricionales más importantes identificados son la curcina y los ésteres de phorbol.
10. El aceite obtenido del prensado de las semillas se emplea como base en más de 400 productos en la industria química aunque actualmente su principal uso es la obtención de biodiesel. En este sentido, el empleo de *Jatropha curcas* L. para la fabricación de biodiesel es rentable siempre y cuando tengan salida comercial sus principales subproductos: glicerina y torta proteica resultante del prensado.
11. La combustión del biodiesel presenta como principales emisiones óxidos de nitrógeno (NO_x), que se producen ligeramente en mayor medida que con el gasóleo, monóxido de carbono (CO), partículas en suspensión y nanopartículas de carbono.
12. Más de la mitad del volumen de emisión de NO_x producido en España procede del transporte, derivado de la combustión del gasóleo. Estos óxidos de nitrógeno pueden afectar al aparato respiratorio, producir irritación en la piel y mucosas, aumentando la predisposición a infecciones virales y alterando el crecimiento celular. El mecanismo por el cual se producen estos efectos se relaciona con la producción y liberación de citoquinas proinflamatorias y quimioquinas de las células del epitelio bronquial, moléculas que median en las reacciones de hipereactividad de la vía aérea. Gran parte de sus efectos pueden atribuirse a la sustancia química que rodea al núcleo de carbón elemental de las partículas producidas por el diesel, más que al núcleo en sí mismo.

13. Las nanopartículas pueden suponer nuevos riesgos para los seres humanos y el medio ambiente a través de su exposición. Los mecanismos de interferencia con la fisiología humana y ambiental difieren de los habituales, principalmente porque el grado de exposición a las mismas es mucho mayor y supone un estrés para los mecanismos de defensa asociados con el sistema inmune e inflamatorio, por la variedad de vías de exposición posibles. Por este motivo, los protocolos de vigilancia de la calidad del aire deberían incorporar criterios de evaluación de las nanopartículas en la atmósfera por sus posibles efectos sobre la salud humana y el medio ambiente.
14. Por último, en lo que se refiere a los aspectos socio-económicos, el cultivo de *Jatropha curcas* L. para la obtención de biocombustibles puede contribuir a alcanzar en los países en desarrollo un mayor grado de autosuficiencia energética, especialmente en lo que se refiere a la disponibilidad de combustibles líquidos. No obstante, los Gobiernos no deberían emprender políticas de expansión de los cultivos bioenergéticos sin evaluar previamente sus posibles efectos socio-económicos y ambientales. Si los países no son productores, las medidas fiscales que es preciso destinar para su promoción, que no están al alcance de todos los Estados, pueden repercutir de manera negativa en sus ingresos.
15. La alta variabilidad del rendimiento de las cosechas de jatrofa dependiendo del lugar y de las condiciones de siembra, hace imposible disponer de una información económica concluyente que pueda utilizarse en cualquier parte del mundo en relación a la rentabilidad de una explotación.

5. BIBLIOGRAFÍA

- ABENGOA (2006). Acuerdo de Colaboración entre Ford España y Abengoa Bioenergía. Disponible en: http://www.abengoa-bioenergyrandd.com/corp/web/es/acerca_de/sala_de_prensa/historico/2006/20060928_noticias.html
- Abhilash, P.C., Srivastava, P. and Jamil, S. (2011). Revisited *Jatropha curcas* as an oil plant of multiple benefits: critical research needs and prospects for the future. *Environmental Science and Pollution Research* 18, 127–131
- Achten, W.M.J., Verchot, L., Franken, Y.J., Mathijs, E., Singh, V.P., Aerts, R. and Muys, B. (2008). *Jatropha* bio-diesel production and use. *Biomass and Bioenergy* 32 (12), 1063-1084
- Adam, S.E.I., (1974). Toxic effects of *Jatropha curcas* L. in mice. *Toxicology* 2, 67–76.
- Adam, S.E.I. and Magzoub, M. (1975). A toxicity of *Jatropha curcas* L. for goats. *Toxicology* 4, 347–354.
- Adger, W.N. (2004). New indicators of vulnerability and adaptive capacity. Addressing vulnerability indicators and their relationship with theoretical adaptation models. Tyndall Centre for Climate Change Research. Disponible en www.adaptationlearning.net/system/files/Tyndall.pdf
- Adolf, W., Opferkuch, H.J. and Hecker, E., (1984). Irritant phorbol derivatives from four *Jatropha* species. *Phytochemistry* 23, 129–132.

- Adriaans, T. (2006). Suitability of solvent extraction for *Jatropha curcas*. Eindhoven: FACT Foundation. Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists Society. 4^a edition.
- AGENCY BIOENERGY TASK 39 (2010). Reports on advanced biofuels. *International Energy Agency*. Disponible en www.iea.org/roadmaps/biofuels.asp
- Ahmed, W.A. and Salimon, J. (2009). Phorbol ester as Toxic constituents of tropical *Jatropha curcas* seed oil. *European Journal of Scientific Research* 31 (3), 429-436.
- AIE (2004). Biofuels for transport: An international perspective, 1-215.
- AIE (2009). World Energy Outlook. Disponible en: http://www.worldenergyoutlook.org/docs/weo2009/WEO2009_es_spanish.pdf.
- Akintayo, E.T. (2004). Characteristics and composition of *Parkia biglobbosa* L. and *Jatropha curcas* L.oils and cakes. *Bioresource Technology* 92, 307-310.
- Álamo, C. (2008). Los bosques como sumideros de carbono. *Boletín COSE* 2. Disponible en: <http://www.selvicultor.es/?q=fr/content/los-bosques-como-sumideros-de-carbono>.
- Alanis, G. y Mijares, T. (2008). Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos ¿La verdadera solución al desarrollo energético? Centro Mexicano de Derecho Ambiental, A.C. (CEMDA)
- Alfonso Bártoli, J.A. (2008). Manual para el cultivo del piñón (*Jatropha curcas*) en Honduras. Disponible en www.gotaverde.org

- Ali, M., Shuja, M.N., Zahoor, M. and Qadri, I. (2010). «Phytic acid: how far have we come». *African Journal of Biotechnology* 9 (11), 1551–1554.
- Anadón, A. y Martínez-Larrañaga, M.R. (2011). Capítulo 6. Requisitos de seguridad alimentaria I. En: Tratado de Derecho Alimentario (Director MA Recuerda Girela). Aranzadi/Thompson-Reuters, Cizur Menor, pp. 481-548.
- Andreae, M.O. and Gelenes, A. (2006). Black carbon or brown carbon?. *Atmospheric Chemical Physics* 6, 3131-3148.
- ANON (2001). The Potential of *Jatropha curcas* in rural development and environment protection – An Exploration. Concept paper. In: Workshop sponsored by Rockefeller Foundation and Scientific and Industrial Research and Development Centre. Disponible en: <http://www.jatropha.de/zimbabwe/rf-conf1.htm>.
- Aregheore, E.M., Becker, K. and Makkar, H.P.S. (2003). Detoxification of a toxic variety of *Jatropha curcas* L. using heat and chemical treatments and preliminary nutritional evaluation with rats. *South Pacific Journal of Natural Sciences* 21, 50–56.
- APPA (2009). “El sector del biodiesel en situación crítica”. *APPAINfo29* 49, 24-25.
- ASEBIO (2008). Criterios de sostenibilidad medioambiental para biocombustibles. Disponible en www.asebio.com/documentos.
- Azam, M., Waris, A. and Nahar, N.M. (2005). Prospects and potential of fatty acid methyl esters of some non-traditional seed oils for use as biodiesel in India. *Biomass and Bioenergy* 29 (4), 293-302.
- Ballester, F. (2005). "Contaminación atmosférica, cambio climático y salud" *Revista Española de Salud Pública* 79 (2), 159-175.

- Ballesteros, M. (2003). Fuentes, cultivos y PAC. *Producciones y aspectos legislativos*. CIEMAT pp. 1-31.
- Banco Mundial (2008). "Informe sobre biocarburantes, una promesa y algunos riesgos. Informe sobre el desarrollo mundial: Agricultura para el desarrollo 2002-2008". Disponible en: <http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/BANCOMUNDIAL/EXTDATRESINSPA/EXTRESINSPA/EXTWDRINSPA/EXTIDM2008INSPA.html>
- Banerjee, A., Sharma, R., Chisti, Y. and Banerjee, U.C. (2002). *Botryococcus braunii*: a renewable source of hydrocarbons and other chemicals. *Critical Review of Biotechnology* 22, 245–79.
- Banerji, R., Chowdhury, A.R., Misra, G., Sudarsanam, G., Verma, S.C. and Srivastava, G.S. (1985). *Jatropha seed oils for energy*. *Biomass* 8, 277–282.
- Barbieri, L., Battelli, M. and Stirpe, F. (1993). Ribosome-inactivating protein from plants. *Biochimistry Biophysics Acta* 1154, 237-282.
- Basha, S.D. and Sujatha, M. (2007). Inter and intra-population variability of *J. curcas* (L.) characterized by RAPD and ISSR markers and development of population-specific SCAR markers. *Euphytica* 56, 375–386.
- Basha, S.D. and Sujatha, M. (2009). Genetic analysis of *Jatropha* species and interespecific hybrids of *Jatropha curcas* using nuclear and organell specific markers. *Euphytica* 168, 197-214.
- Becker, K. (2009). Detoxification of *Jatropha curcas* seed meal for use as feed ingredient for ruminants and monogastrics and the molecular mode of action of its main toxic principle, the phorbol esters. Disponible en www.uni-hohenheim.de

- Becker, K. (2005). *Bio-diesel from Jatropha plantations on degraded land*. Multifunctional Plants–Food, Feeds and Industrial Products. Disponible en: <http://www.jatropha.org.za/Knowledge/Base/Files/biodieselfromJatrophaondegradedland.pdf>
- Beerens, P. (2007). Screw-pressing of Jatropha seeds for fueling purposes in less developed countries. MSc dissertation, Eindhoven. Disponible en: [www.ifrj.upm.edu.my/18%20\(04\)%202011/\(23\)IFRJ-2011-269.pdf](http://www.ifrj.upm.edu.my/18%20(04)%202011/(23)IFRJ-2011-269.pdf).
- Beliarbi, E.H., Molina Grima, E. and Chisti, Y. (2000). A process for high yield and scaleable recovery of high purity icosapentaenoic acid esters from microalgae and fish oil. *Enzyme Microbiological Technology* 26, 516–529.
- Ben Hagan, E. (2007). Biofuels Assessment Report ECOWAS Sub-Region. AU/Brazil/UNIDO Biofuels Seminar in Africa. Disponible en: http://www.unido.org/fileadmin/import/70710_Biofuels__ECOWAS__Dr._Ben_Hagan.ppt
- Berchmans, J. and Hirata, S. (2008). Biodiesel production from crude Jatropha curcas L. seed oil with a high content of free fatty acids. *Bioresource Technology* 99, 1716–1721.
- Berkes, F. and Jolly, D. (2001). Adapting to climate change: social-ecological resilience in a Canadian Western Arctic community. Short and long term adaptive strategies for dealing with climate change. *Conservation Ecology* 5 (2), 18-30.
- Bertolini, T. M., Giorgione, J., Harvey, D. and Newton, A. (2003). Protein kinase C translocation by modified phorbol esters with functionalized lipophilic regions. *Journal of Organic Chemistry* 68, 5028–5036.

- Bhuvaneswari, T.V. and Bauer, W.D. (1978). Role of lectins in plant microorganism interactions. III. Influence of rhizospheric rhizoplane culture conditions on the soybean lectin-binding properties of rhizobia. *Plant Physiology* 6, 71-74.
- BID (2009). Biofuels Sustainability Scorecard Comunicados de Prensa. Disponible en <http://www.iadb.org/es/noticias/comunicados-de-prensa/2009-09-11/bid-anuncia-nueva-version-del-scorecard-de-sostenibilidad-de-los-biocombustibles,5617.html>
- Biel, B. y Flores, F. (2006). Nanociencia: Manipulación a escala atómica y molecular. *Nanociencia y Nanotecnología* 34.
- Bleeker, A., Reis, S., Britton, C., Erisman, J.W. y Sutton, M.A. (2008). Actividades relacionadas con el ciclo del nitrógeno en Europa. *Seguridad y Medio Ambiente*, 111, 22-32.
- Bode-Böger, S.M. and Kojda, G. (2005). Organic nitrates in cardiovascular disease. *Cellular and Molecular Biology* 51, 307-320
- Braun, R., Pumarino, M. y Tolvett, S. (2003). Motores diesel: tecnologías para su futuro. Disponible en: http://www.ingenieroambiental.com/4017/biodiesel_futurodelosmotoresdiesel.pdf
- Brenes, A. (2005). Responsabilidad universal y diferenciada. Disponible en: <http://www.earthcharterinaction.org/invent/images/uploads/Brenes.pdf>
- Brittaine, R. and Litaladio, N. (2010). *Jatropha* for pro-poor development. *Integrated Crop Management*. 8, 77.
- BRITISH PETROLEUM (2004). *The BP Statistical Review of World Energy 2004*. Disponible en: http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/full_report_2004.pdf.

- BRITISH PETROLEUM (2010). Statistical Review of World Energy 2010. Disponible en: http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2008/STAGING/local_assets/2010_downloads/statistical_review_of_world_energy_full_report_2010.pdf.
- Brodie, C., and Blumberg, P. (2003). Regulation of cell apoptosis by protein kinase C. *Apoptosis* 8, 19–27.
- Brynes, P. J., Schmidt, R. and Hecker, E. (1980). Plasminogen activator induction and platelet aggregation by phorbol and some of its derivatives: Correlation with skin irritancy and tumor-promoting activity. *Journal of Cancer Research and Clinical Oncology* 97, 257–266.
- Bhuvaneswari, T.V. and Bauer, W.D. (1978). Role of lectins in plantmicroorganism interactions. III. Influence of rhizosphererhizoplane culture conditions on the soybean lectin-binding Properties of rhizobia. *Plant Physiology* 62, 71-74.
- Burrone, E. (2006). Las Patentes, pilar esencial del sector de la biotecnología. Organización Mundial de la Propiedad Intelectual. Disponible en http://www.wipo.int/sme/es/documents/patents_biotech.htm
- Callicot, J.B. (1989). In defense of the Land Ethics. Essays in Environmental Philosophy. Ed. State University of New York Press. Albany, NY
- Cano, A.L.M, Plumbly, R.A. and Hylands, P.J. (1989). Purification and characterization of the hemagglutinin from seeds of *Jatropha curcas*. *Journal of Biochemistry* 13, 1-20.
- Cárceres, A., Diéguez, R., Loarca, A. y Chang, D.E. (2004). La etnoveterinaria como un instrumento para la atención integral de la producción pecuaria, pp: 6-8. In: Anais do XIII Congresso Italo-Latino Americano do Etnomedicina. Facultad de Farmacia, Roma.

- Carslaw, D.C. (2005). Evidence of an increasing NO₂/NO_x emissions ratio from road traffic emissions. *Atmospheric Environment* 39 (26), 4793 – 4802.
- Carvalho, C.R., Clarindo, W.R., Praca, M.M., Araujo, F.S. and Carels, N. (2008) Genome size, base composition and karyotype of *Jatropha curcas* L., an important biofuel plant. *Plant Science* 174, 613–617.
- Casseb, J.C, Bernand, G., Saito, R., Brigido, L.F., Joaquim, E.S. and Duarte, A.J. (1995). The value of the lymphocyte proliferation test with phytohemagglutinin in the immune evaluation of Brazilian HIV-infected patients. *Journal of Invest Allergy Clinical Immunology* 5 (6), 347-349.
- CE (2008). La Acción de la UE contra el cambio climático. Adaptación al Cambio Climático. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas. ISBN 978-92-79-09102-5
- Chen, C., Chen, W., Ming, C.J., Lai, S. and Tu, C. (2010). Biodiesel production from supercritical carbon dioxide extracted *Jatropha* oil using subcritical hydrolysis and supercritical methylation. *Journal of Supercritical Fluids* 52, 228–234.
- Cheng, A., Lou, Y., Mao, Y., Lu, S., Wang, L. and Chen, X. (2007). Plant terpenoids: biosynthesis and ecological functions. *Journal of Integrated Plant Biology* 49, 179–186.
- Chhetri, A., Tango, M., Budge, S., Watts, K.M. and Rafiquil I. (2008) Non-Edible Plant Oils as New Sources for Biodiesel Production *International Journal of Molecular Science* 9, 169-180.
- Chisti, Y. (2007). Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances* 25, 294-306.

Chitra, P., Venkatachalam, P. and Sampathrajan, A. (2005). Optimisation of experimental conditions for biodiesel production from alkali-catalysed transesterification of *Jatropha curcas* oil. *Energy for Sustainable Development* 9, 13–18.

CMNUCC (1992). Programa de las Naciones Unidas para el medio Ambiente. Disponible en: http://unfccc.int/portal_espanol/essential_background/convention/items/3323.php.

Comunicación de la Comisión de 29 de noviembre de 1997, “Energía para el futuro: fuentes de energía renovables. Libro Blanco para una Estrategia y un Plan de Acción Comunitarios”. COM (1997) 599 final - no publicada en el DO.

Comunicación de la Comisión, de 8 de marzo de 2000, “Políticas y medidas de la UE para reducir las emisiones de GEI: hacia un Programa Europeo sobre el Cambio Climático (PECC)”. COM (2000) 88 final - no publicada en el DO.

Comunicación de la Comisión, de 23 de octubre de 2001, “acerca de la ejecución de la primera fase del Programa Europeo sobre el Cambio Climático”. COM (2001) 580 final - no publicada en el DO.

Comunicación de la Comisión, de 9 de febrero de 2005, «Ganar la batalla contra el cambio climático mundial». COM (2005) 35 final - DO C 125, de 21 de mayo de 2005, pp.1-19.

Comunicación de la Comisión al Consejo, al Parlamento Europeo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones, de 22 de septiembre de 2006, «Estrategia temática para la protección del suelo». COM (2006) 231 final - no publicada en el DO.

Comunicación de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo, de 10 de enero de 2007, “Informe sobre los Biocarburantes”. COM (2006) 845 final. DO C 44 de 16.02.2008, pp. 34-44.

Comunicación de la Comisión, de 8 de febrero de 2006, «Estrategia de la Unión Europea para los biocarburantes» COM (2006) 34 final – DO C 67 de 18.3.2006, pp.1-31.

Comunicación de la Comisión, de 10 de enero de 2007, “Limitar el calentamiento mundial a 2°C - Medidas necesarias hasta 2020 y después”. COM (2007) 2 final - no publicada en el DO.

Comunicación de la Comisión, de 18 de septiembre de 2007, «Creación de una alianza mundial para hacer frente al cambio climático entre la UE y los países en desarrollo pobres más vulnerables al cambio climático”. COM (2007) 540 final - no publicada en el DO.

Comunicación de la Comisión, de 31 de enero de 2011, "Energía Renovable: Progresando hacia el objetivo 2020". COM (2011) 31 final- no publicada en el DO.

CORNELL UNIVERSITY (2009). Plant poisonous to livestock. Disponible en: <http://www.ansci.cornell.edu/plants/toxicagents/saponin.html>

CSIRO (2009). Algae could fuel cars and jobs. Disponible en: <http://www.csiro.au/news/Biodiesel-from-algae.html>.

Constance, P. (2009). BID anuncia nueva versión del Scorecard de Sostenibilidad de los Biocombustibles. Disponible en: <http://www.iadb.org/es/noticias/comunicados-de-prensa/2009-09-11/bid-anuncia-nueva-version-del-scorecard-de-sostenibilidad-de-los-biocombustibles,5617.html>.

Cordero, J., Bosier, D. y Barrance, A. (2003). Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas. OFI-CATIE, ISBN 0 85074 161.

Cremades, A. (2008). Nanotecnología. *Daphnia. Istas* 46. Disponible en: <http://www.daphnia.es/articulo.asp?idarticulo=821>.

DAILY REPORTER (2010). China-US launch biofuel venture. Disponible en: <http://dailyreporter.com/2010/05/26/china-us-launch-biofuel-venture/>

Darkwah, L., Brew-Hammond, A., Ramde, E., Kemausuor, F. and Addo, A. (2007). Biofuels Industry Development in Africa. AU/Brazil/UNIDO High level Seminar on Biofuels in Africa.

Davies, C. (2007). The risk in nanotechnology. A little risky business. *The Economist*. Disponible en: <http://www.economist.com/node/10171212>.

Decisión 2002/358/CE del Consejo, de 25 de abril de 2002, relativa a la aprobación, en nombre de la Comunidad Europea, del Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y al cumplimiento conjunto de los compromisos contraídos con arreglo al mismo. DO L 130, de 15 de mayo de 2002, pp. 1-3.

Decisión 406/2009/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009 sobre el esfuerzo de los Estados miembros para reducir sus emisiones de GEI a fin de cumplir los compromisos adquiridos por la Comunidad hasta 2020. DO L 140 de 5.6.2009, pp. 136-148.

Dehgan, B. and Webster, G.L. (1979). Morphology and infrageneric relationships of the genus *Jatropha* (Euphorbiaceae). *University of California Publications in Botany* 74, 76-133.

Dehgan, B. and Schutzman, B. (1994). Contributions toward a monograph of neotropical *Jatropha*: Phenetic and phylogenetic analyses. *Annuary of the Missouri Botanic Garden* 81, 349-367.

Delaunay, D. (2007). Los biocarburantes en Brasil. Delegación de MERCOSUR. Parlamento Europeo.

DER SPIEGEL (2010). German Government Wants to Extend Nuclear Reactor Life Spans. Disponible en: <http://www.spiegel.de/international/germany/0,1518,673875,00.html>

Devall, B. and Sessions, G. (1985). Deep Ecology: Living as if Nature Mattered. Salt Lake City: Peregrine Smith.

DIARIO DIGITAL (2009). “Científicos rechazan política de biocombustibles”. Disponible en www.diariodigital.com

DIARIO SUR (2010). La UE aborda el estudio epidemiológico. Disponible en www.diariosur.es.

Díaz, C.L., Melchers, L.S., Hooykaas, P.J.J., Lugtenberg, E.J.J. and Kijne, J.W. (1989). Root lectin as a determinant of host-plant specificity in the *Rhizobiumlegume* symbiosis. *Nature* 338, 579-581.

Díaz Peralta, P. and Anadón, A. (2008). International principles on offences under food law and legal uncertainty. Liability and State responsibility. *European Food and Feed Law Review* 3 (4), 232-245.

Diniz, G. (2009) De coadjuvante a protagonista. Instituto Ciencia Hoje (CH). Disponible en: <http://cienciahoje.uol.com.br/noticias/quimica/de-coadjuvante-a-protagonista/>

Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 13 de octubre de 2003 por la que se establece un régimen para el comercio de derechos de emisión de GEI en la Comunidad y por la que se modifica la Directiva 96/61/CE del Consejo. DO. L 275 de 25.10.2003, pp. 32-46.

Directiva 88/77/CE de 3 de diciembre de 1987 relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre las medidas que deben adoptarse contra la emisión de gases y partículas contaminantes procedentes de motores diesel destinados a la propulsión de vehículos. DO L 36 de 9. 2. 1988, pp. 33-61.

Directiva 98/70/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 13 de octubre de 1998 relativa a la calidad de la gasolina y el gasóleo y por la que se modifica la Directiva 93/12/CEE del Consejo. DO L 350 de 28.12.1998, pp. 58-68.

Directiva 2003/17/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 3 de marzo de 2003 por la que se modifica la directiva 98/70/ce relativa a la calidad de la gasolina y el gasóleo. DO L 76 de 22.03.2003, pp.10-19.

Directiva 2002/32/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 7 de mayo de 2002 sobre Sustancias Indeseables en la Alimentación Animal. DO L 140 de 30.5.2002, pp.10-21.

Directiva 2003/17/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 3 de marzo, que modifica la Directiva 98/70/CE sobre la calidad de los combustibles gasolina y diesel. DO L 76 de 22.03.2003, pp.10-19.

Directiva 2003/30/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 8 de mayo de 2003, relativa al fomento del uso de biocarburantes u otros combustibles renovables en el transporte. DO L 123 de 17.05.2003, pp. 42-46.

Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 13 de octubre de 2003 por la que se establece un régimen para el comercio de derechos de emisión de GEI en la Comunidad y por la que se modifica la Directiva 96/61/CE del Consejo. DO L 275 de 25.10.2003, pp. 32-46.

Directiva 2003/96/CE del Consejo, de 27 de octubre de 2003 por la que se reestructura el régimen comunitario de imposición de los productos energéticos y de la electricidad. DO L 283 de 31.10.2003, pp. 51-70.

Directiva 2004/101/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de octubre de 2004, por la que se modifica la Directiva 2003/87/CE, por la que se establece un régimen para el comercio de derechos de emisión de GEI en la Comunidad con respecto a los mecanismos de proyectos del Protocolo de Kioto. DO L 338 de 13.11.2004, pp. 18-24.

Directiva 2007/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2007 relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación. DO L 287 de 6.11.2007, pp. 27-35.

Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 21 de mayo de 2008 relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa. DO L 152 de 11.06.2008, pp. 1- 44.

Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de abril, sobre la promoción del uso de la energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE. DO L 140 de 5.06.2009, pp.16-62.

Directiva 2009/30/CE de 23 de abril por la que se modifica la Directiva 98/70/CE en relación con las especificaciones de la gasolina, el diesel y el gasóleo, se introduce un mecanismo para controlar y se modifica la Directiva 1999/32/CE del Consejo en relación con las especificaciones del combustible utilizado por los buques de navegación interior y se deroga la Directiva 93/12/CEE. DO L 140 de 5.06.2009, pp. 88-113.

Domínguez, J.C. (2008) "Iniciativa en firme con la *Jatropha*" *Diario El tiempo*. Disponible en www.eltiempo.com

- Donaldson, K., Stone, V., Clouter, A., Renwick, L. and MacNee, W. (2001). Ultrafine particles. *Occupational and Environmental Medicine* 58, 211-216.
- Donkin, S.S., Koser, S.L., White, H.M., Doane, P.H. and Cecava, M.J. (2009). Feeding value of glycerol as a replacement for corn grain in rations fed to lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 92 (10), 5111-5119.
- DuPont, V. (2007). Generating hydrogen from biodiesel waste. *ScienceDaily*.<http://www.sciencedaily.com/releases/2007/11/071127101921.htm>
- Earth Negotiation Bulletin (2010). UN Climate Change Conference. Cancun. <http://www.iisd.ca/vol12/enb12487e.html>.
- EBB (2006). Statistics. Disponible en: www.ebb-eu.org/stats.php
- ECOLOGISTAS EN ACCIÓN (2006) Contaminación del aire y salud. Disponible en: <http://www.ecologistasenaccion.org/article5682.html>.
- Edo, M. (2002). Amartya Sen y el *desarrollo como libertad* .La viabilidad de una alternativa a las estrategias de promoción del desarrollo.
- EEA (2008). Opinion of the EEA Scientific Committee on the environmental impacts of biofuel utilisation in the EU. Disponible en: http://www.astrid-online.it/Clima--ene/Documenti/Archivio-21/Opinion_EEA-_environmental-impacts-of-biofuel-utilisation_10_04_08.pdf
- EFSA (2010). Scientific Opinion on the abiotic risks for public and animal health of glycerine as co-product from the biodiesel production from Category I animal by-products (ABP) and vegetable oils. *EFSA Journal* 2010; 8(12):1934 [22 pp.]. doi:10.2903/j.efsa.2010.1934

- El-Badwi, D.M.A., Adam, S.E.I. and Hapke, H.J. (1995). Comparative toxicity of *Ricinus communis* and *Jatropha curcas* in Brown Hisex chicks. *Deutsche Tierärztliche Wochenschrift* 102 (2), 75–77.
- ESMAP (2005). Potential for biofuels for transport in developing countries; Report 312/05. Joint UNDP/World Bank. Washington.
- EUROSERVER (2008). Biofuels Barometer. *Systèmes solaires le journal des énergies renouvelables* 185, 1-18.
- EUROSERVER (2010). Biofuels Barometer. Systèmes Solaires. *Le journal des énergies renouvelables* 198, 1-26.
- Evans, F. J. (1986). Naturally occurring phorbol esters. Ed CRC Press. Boca Raton, Florida.
- Famularo, G., De Simona, C., Pandey, V., Sahu, A.R. and Minisola, G. (2005). «Probiotic lactobacilli: an innovative tool to correct the malabsorption syndrome of vegetarians?». *Medical Hypotheses* 65 (6), 1132–1135.
- FAO (2008) Estado Mundial de la Agricultura y la alimentación. Biocombustibles perspectivas, riesgos y oportunidades. ISBN 978-92-5-305980-5.
- FAO (2009). World Summit on Food Security “Feed the world to eradicate hunger”, pp. 1-18.
- Farrell, A., Plevin, R.J., Turner, B.T., Jones, A., O’Hare, M. and Kammen, D. (2006). Ethanol can contribute to energy and environmental goals, *Science* 311 (5760), 506-508.
- Faure, M. and Nollkaemper, A. (2007). International liability as an instrument to prevent and compensate for climate change. Symposium: climate change risk. *Stanford Journal of International Law* 26, 1-58.

- Feng, H., Zuo, R., Chang, J., Zheng, QH, Y. and Yin, Q.Q. (2009). Phytase expressed by pIA8 and pGAPZA vectors and analysis of its biochemical characters. *Open Biotechnology Journal* 3, 19-23.
- Fernandez-Casas, F. (2003). “Una nueva especie de Brasil: *Jatropha hastifolia* Fdez Casas”. *Fontqueria* 55 (21), 109-112.
- Ferry, N. and Angharad, E. (2009). Environmental impact of genetically modified crops. UK. ISBN: 9781845934095
- Foerster, H. (2006). MetaCyc Pathway: saponin biosynthes. Disponible en: <http://biocyc.org/META/NEW-IMAGE?type=PATHWAY&object=PWY-5203&detail-level=3>
- Forster, P., Ramaswamy, V., and Artaxo, P. (2007). Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. In: Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (eds. Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M. and Miller, H.L.), Cambridge University Press. UK, pp. 130–234.
- FORO NUCLEAR (2007). Energía nuclear y cambio climático. Disponible en www.foronuclear.org.
- Forson, F.K., Oduro, E.K. and Hammond-Donkoh, E. (2004). Performance of *Jatropha* oil blends in a diesel engine. *Renewable Energy* 29, 1135–1145.
- Francis, G., Edinger, R. and Becker, K. (2005). A concept for simultaneous wasteland reclamation, fuel production, and socio-economic development in degraded areas in India: Need, potential and perspectives of *Jatropha* plantations. *Natural Resources Forum* 29, 12–24.

- FRIENDS OF THE EARTH (2007). Biofuels: a big green con?. Disponible en www.foe.co.uk/news/biofuels.html
- Frondel, M and Peters, J. (2007) Biodiesel, a new oilorado? *Energy Policy* 35, 1675-1684.
- Furbee, B. and Wermuth, M. (1997). Life threatening plant poisoning. *Medical Toxicology* 13 (4), 849-888.
- Gandhi V.M., Cherian, K.M. and Mulky, M.J. (1995). Toxicological studies on Ratanjyot oil. *Food and Chemical Toxicology* 33 (1), 39-42.
- Ganesh-Ram, S., Parthiban, K.T., Senthil- Kumar, R. , Thiruvengadam, V. and Paramathma, M. (2008). Genetic diversity among *Jatropha* species as revealed by RAPD markers. *Genetic Resources Crops Evolution* 55, 803-809.
- Garcia, M.A. y Arellano, M. (2007) La crisis del maíz y la tortilla: crisis de la soberanía alimentaria en México. Disponible en: <http://www.maderasdelpueblo.org.mx/archivos/pdf/conflicty/1Dcto AnalisisMaizFin.pdf>.
- Garcia-Reyes, B. (2009). Adsorción de Cromo (III) en Fracciones de Residuos Agrícolas.<http://www.ipicyt.edu.mx/espanol/actividades/actividades.php?evento=1179>.
- Gerbens-Leenes, W., Hoekstra, A.Y. and Van der Meer, T.H. (2009). The water footprint of bioenergy. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 106, 10219–10223.
- Gershenzon, J. and Dudarev, N. (2007). The function of terpene natural products in the natural world. *Nature Chemical Biology* 3, 408–414.
- Ginwal, H.S., Rawat, P.S. and Srivastava, R.L. (2004). Seed source variation in growth performance and oil yield of *Jatropha curcas* Linn in central India. *Silvae Genetica* 53 (12), 186–192.

- Ghosh, A., Patolia, J.S., Chaudhary, D.R., Chikara, J., Rao, S.N., Kumar, D., Boricha, G.N. and Zala, N. (2007). Response of *Jatropha curcas* under different spacing to *Jatropha* de-oiled cake. Disponible en: www.fact-foundation.com/media_en/Jatropha_presscake_as_fertilizer.
- Giraldo, S., Rios, L.A., Franco, A. y Cardeno, F. (2009) Síntesis de Aditivos para biodiesel a partir de modificaciones químicas de la glicerina. *Información Tecnológica* 20 (6), 75-84.
- Global Exchange (2001). Biopiracy: A New threat to indigenous rights and culture in Mexico. Disponible en: www.globalexchange.org/mexico/biopiracyReport.html.
- Goel, G., Makkar, H., Francis, G. and Becker, K. (2007). Phorbol Esters: structure, biological activity, and toxicity in animals. *International Journal of Toxicology* 26, 279-288.
- Goldstein, I.J. (1980). What should be called lectine. *Nature* 28, 66-68.
- Gonzalez, A. y Castañeda, Y. (2008). Biocombustibles, biotecnología y alimentos. Impactos sociales para México. *Nueva Época* 21 (57), 52-83.
- Goto, S., Ozawa, S., Shiotani, H. and Oguma, M. (2008). Benchmarking of biodiesel fuel standards in East Asia. *Research Centre for new fuels and vehicle technology*. Disponible en: http://www.tistr.or.th/APEC_website/Document/st%20APEC%20biodiesel/1st%20APEC%2025%20OCT%2007/11.%20Benchmarking%20of%20Biodiesel%20Fuel%20Standards%20in%20East%20Asia.pdf.
- Gour, V.K. (2006). Production practices including post-harvest management of *Jatropha curcas*. Proceedings of the biodiesel conference toward energy independence. *Forum* 29, 12-24.

- Green, T.R., Fisher, J., Stone, M., Wroblewski, B.M. and Ingham, E. (1998). Polyethylene particles of a "critical size" are necessary for the induction of cytokines by macrophages in vitro. *Biomaterials* 19, 2297-2302.
- GREENPEACE (2008). Oponerse a los biocombustibles. Nuevos Diario. Nicaragua. Disponible en: <http://www.elnuevodiario.com.ni/nacionales/15674>.
- Gubitz, G.M., Mittelbach, M. and Trabi, M. (1999). Exploitation of the tropical oil seed plant *Jatropha curcas* L. *Bioresource Technology* 67, 73-82.
- Guijarro, A., Lumbreras, J. y Habert, J. (2009). El mecanismo de desarrollo Limpio y su contribución al desarrollo humano. Análisis de la situación y metodología de evaluación del impacto sobre el desarrollo. *Informe de investigación-Intermón Oxfam*, pp. 1-45.
- Gutierrez-Praena, D., Jos, A., Pichardo, S., Puerto, M., Sanchez-Granados, E., Grilo, A. y Cameán, A.M. (2009). Nuevos riesgos tóxicos por exposición a nanopartículas. *Revista de Toxicología* 26 (2-3), 87-92.
- Haas, W. and Mittelbach, M. (2000). Detoxification experiments with the seed oil from *Jatropha curcas* L. *Industrial Crops and Products* 12 (2), 111-118.
- Haas, W., Strerk, H. and Mittelbach, M. (2002). Novel 12 Deoxy-16-hydroxyphorbol di-esters isolates from the seed oil of *Jatropha curcas*. *Journal of Natural Products* 65, 1434-1440.
- Hanakahi, L.A., Bartlet-Jones, M., Chappell, C., Pappin, D. and West, S.C. (2000). Binding of inositol phosphate to DNA-PK and stimulation of double-strand break repair. *Cell* 102 (6), 721-729.
- Handy, R.D. and Shaw, B.J. (2007). Toxic effects of nanoparticles and nanomaterials: Implications for public health, risk assessment and the public perception of nanotechnology. *Health, Risk and Society* 9 (2), 25-144.

- Hartmut, F. (1988). *Advances in lectin research*. 1, Berlín: Springer-Verlag, ISBN-13: 9780387179728
- HEI (2002). Understanding the health effects of components of the particulate matter. Disponible en www.healtheffects.org/pubs/perspectives-2.pdf
- Heller, J. (1996). "Physic-nut *Jatropha curcas* L. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. *International Plant Genetic Resources Institute*. ISBN 92-9043-278-0.
- Helwani, Z., Othman, M.R., Aziz, N., Kim, J. and Fernando, W.J.N. (2009). Solid heterogenous catalyst for transesterification of triglycerides with methanol: a review. *Applied Catalysis A: General* **363**, 1–10.
- Henning, R.K. (2006). The *Jatropha* system, integrated rural development by utilization of *Jatropha curcas* L. as raw material and as renewable energy. Disponible en: www.jatropha.org.
- Henning, R.K. (2008). "Understanding the *Jatropha* System". In: *International Consultation on Pro-poor Jatropha Development*. Rome, IFAD
Disponible en: <http://www.ifad.org/events/jatropha>.
- Hernández, P., Martín, O., Rodríguez de Pablos, Y. y Ganem, F. (1999). Aplicaciones de las lectinas. *Revista Cubana de Hematología, Inmunología y Hemoterapia* **15** (2), 91-95.
- Hernández, E. (2008). Estudio comparativo de la legislación latinoamericana sobre biocombustibles. Servicio Holandés de Cooperación al Desarrollo SNV.
- Hervé, C., Dabos, D., Galaud, J., Rougé, P. and Lescure, B.(1996). Characterization of an *Arabidopsis thaliana* gene that defines a new class of putative plant receptor-kinases with an extracellular lectin-like domain. *Journal of Molecular Biology* **258**, 778-788.
- Hinds, W. C.(1999). *Aerosol Technology: Properties, Behavior, and measurement of airborne particles*. 2nd edition. New York, N.Y.

Hippen, A.R., DeFrain, J.M. and Linke1, P.L.(2008). Glycerol and Other Energy Sources for Metabolism and Production of Transition Dairy Cows. <http://www.google.es/search?sourceid=navclient&hl=es&ie=UTF>.

Health and Safety Executive (2004). Nanoparticles: An occupational hygiene review. Institute of Occupational Medicine for the Health and Safety Executive. ISBN 0 7176 2908 2.

Ibald-Mulli, A., Wichmann, H.E., Kreyling, W., and Peters, A. (2002). Epidemiological Evidence on Health Effects of Ultrafine Particles. *Journal of Aerosol Medicine* 15 (2), 189-201.

ICEX (2009). El Sector de los biocarburantes en Senegal Roca, M. Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en Dakar. *Informes Sectoriales*.

ICS-UNIDO (2009). Next generation biofuels and biobased products. Disponible en: www.ics.trieste.it/core-programmes/biofuels.aspx

IDAE (2005). Plan de Energías Renovables 2005-2010. Disponible en: [http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_PER_2005-2010_8_de_gosto-2005_Completo.\(modificacionpag_63\)_Copia_2_301254a0.pdf](http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_PER_2005-2010_8_de_gosto-2005_Completo.(modificacionpag_63)_Copia_2_301254a0.pdf)

IDAE (2010). Plan Nacional de Energías Renovables (PANER) 2011-2020. Disponible en: http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_20100630_PANER_Espana_version_final_%5B1%5D_cdb842de.pdf

IDAE (2009). Documento para el diseño de proyectos. Disponible en: http://www.idea.org.py/gfx/espanol/descargas/topicos/Guia_Elab_Proj_MDL.pdf.

- Igbinosa, O., Igbinosa, I., Chigor, V., Uzunugbe, O., Oyedemi, S., Odjadjare, E., Okoh, A. and Igbinosa, E. (2011). Polyphenolic Contents and Antioxidant Potential of Stem Bark Extracts from *Jatropha curcas* L. *International Journal of Molecular Science* 12, 2958-2971.
- INDIA (2002). India Vision 2020. Plannning Commission, Government of India. Disponible en http://planningcommission.nic.in/plans/lanrel/pl_vsn2020.pdf.
- INDIA (2004). Information from various ministries and the Planning Commission of the Government of India. Disponible en <http://planningcommission.nic.in/>.
- INTERMON-OXFAM (2008). Otra verdad incómoda: Cómo las políticas de Biocombustibles agravan la pobreza y aceleran el cambio climático. Informe 114.
- IPCC (1990). “*IPCC First Assessment Report (FAR)*” WMO and UNEP. Disponible en http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.htm
- IPCC (2007). Cambio climático y biodiversidad. PNUMA-OMM. Disponible en: <http://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/climate-changes-biodiversity-sp.pdf>
- IPCC (2007). Fourth Aseessment Report Core Writing Team, Pachauri, R.K. and Reisinger, A. (Eds.) IPCC, Geneva, Switzerland.
- IPADE (2006). El Cambio Climático y los Objetivos de Desarrollo del Milenio. Disponiblen en: http://www.pobrezacero.org/objetivos/documentos/cambio_climatico_odm.pdf
- Itichi, S., Yamano, Y., Osame, M., and Hall, W.W. (1996). A kinetic comparative study on lymphocyte responses to superantigen and phytohemagglutinin: reciprocal presentation of superantigen on surface of active lymphocytes. *Cellular Immunology* 173 (2), 312-6.

- Iyengar, S and Shukla, N. (2000). Common Property Land Resources in India: Some Issues in regeneration and management,/ Beck, T. and Ghosh, M. Common Property Resources and the Poor: Findings from West Bengal- *Economic and Political Weekly* 35 (3), 147-153.
- Jani, P., Halbert, G.W., Langridge, J. and Florence, A.T. (1990). Nanoparticle uptake by the rat gastrointestinal mucosa: quantitation and particle size dependency. *Journal of Pharmacy and Pharmacology* 42, 821-826.
- Jang, E.S., Jung, M.Y. and Min, D.B. (2005). Hydrogenation for low trans and high conjugated fatty acids. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 4, 22-30.
- Jiménez, J. y Martínez, M. (1991). Especie nueva del género *Jatropha* de Michoacán. *Anales del Instituto de Biología. UAM. Sección botánica* 61 (1), 1-4.
- Jiménez, J. (1992). Especies nueva del género *Jatropha* de la depresión del río balsas. *Anales del Instituto de Biología. UAM. Sección botánica* 63 (1), 25-29.
- Jiménez, J., Campos, A. y Martínez, M. (1994). Dos especies nuevas del género *Jatropha* de la sección *Platyphylae*. *Anales del Instituto de Biología. UAM. Sección Botánica* 65 (1), 21-29.
- Jiménez, J. y Torres, R. (1994). Especie nueva del género *Jatropha* de la sección *Mozinna*. *Anales del Instituto de Biología. UAM. Sección botánica* 65 (1), 1-5.
- Jimenez, R. (2008). Medidas preventivas y de control para nanopartículas y nanomateriales. Paralelo Edición, S.A. Depósito Legal: M-0000-2008

- Jongschaap, R. A., Blesgraafb, T. A., Bogaardb, E.N., Van Loo, A. and Savenijeb, H. (2009). The water footprint of bioenergy from *Jatropha curcas* L. *Proceedings of the National Academy os Sciences* 1 (106), 35.
- Joshi, C., Mathur, P. and Khare, S.K. (2011). Degradation of phorbol esters by *Pseudomonas aeruginosa* PseA during solid-state fermentation of deoiled *Jatropha curcas* seed cake. *Bioresource Technology* 102, 4815–4819.
- Juan, J.C., Kartika, D.A., Wu, T.Y. and Yun Hin, T. (2011). Biodiesel production from jatropha oil by catalytic and non-catalytic approaches: An overview. *Bioresource Technology* 102, 452–460.
- Jumbe, C., Msiska, F. and Mhango, L. (2009). Report on national policies on biofuels sector development in Sub-Saharan Africa. *Energy Policy* 37 (11), 4980-4986.
- Juwarkar, A.A., Yadav, S.K., Kumar, P. and Singh, S.K. (2008). Effect of biosludge and biofertilizer amendment on growth of *Jatropha curcas* in heavy metal contaminated soils. *Environmental Monitoring Assessment* 145 (1-3), 7–15.
- Kandpal, J.B. and Madan, M. (1995). *Jatropha curcas*: a renewable source of energy for meeting future energy needs. *Renewable Energy* 6 (2), 159–160.
- Kaushik, N., Kaushik, J.C. and Kumar, S. (2003). Response of *Jatropha* seedlings to seed size and growing medium. *Journal of Non-Timber Forest Products* 10, 40–2.
- Kaushik, N. and Kumar, S. (2006). *Jatropha curcas* L. silviculture and uses. . Agrobios Publisher. ISBN 8177542060.

- Kennedy, G. and Trochimovicz, J. (1982). Inhalation toxicology. In: Profile and Methods of Toxicology. Ed. By A. Wallace Ayes. Raven Press NY, pp. 185-208
- Kessler, A. and Baldwin, T. (2001). Defensive function of herbivore induced plant volatile emission in nature. *Science* 291, 2141–2144.
- Kilinski, J. (2009). International Climate Change Liability: a myth or a reality? *Journal of Transnational Law and Policy* 18 (2), 378-416.
- Kingsbury, J.M. (1964). Poisonous Plants of the United States and Canada. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
- Kittelson, D.V. (1998). Engines and nanoparticles: A Review. *Journal of Aerosol Science* 29 (5, 6), 575-588.
- Klaine, S.K., Alvarez, P.J., Batley, G.E., Fernandes, T.F., Handy, R.D., Lyon, D.Y., Mahendra, S., McLaughlin, M.J. and Lead, J.R. (2008). Nanomaterials in the environment: behavior, fate, bioavailability, and effects. *Environmental Toxicology and Chemistry* 27 (9), 1825-1851.
- Klaus, V. and Smith, F.L. (2008). Blue Planet in Green Shackles. National Press Club, Washington D.C. ISBN: 1-889865-09-5.
- Kohli, A., Raorane, M., Popluechai, S., Kannan, U., Siers, J.K. and O'Donnell, A.G. (2009). Biofuels: *Jatropha curcas* as a novel, non-edible plant for Biodiesel. *Environmental Impact* 14, 296-304.
- Kulkarni, M.G. and Dalai, A.K. (2006). Waste cooking oil – an economical source for biodiesel: a review. *Industrial and Engineering Chemical Research* 45, 2901–2913.
- Kumar, M.S., Ramesh, A. and Nagalingam, B. (2003). An experimental comparison of methods to use methanol and *Jatropha* oil in a compression ignition engine. *Biomass and Bioenergy* 25, 309–318.

- Kumar, N., Pamidimarri, S., Kaur, M., Boricha, G. and Reddy, M. (2008). Effects of NaCl on growth, ion accumulation, protein, proline contents and antioxidant enzymes activity in callus cultures of *Jatropha curcas*. *Biologia* 63(3), 378-382.
- Lahl, U. and Lambrecht, U. (2008). High NO₂ Levels: Ongoing need for Action on Diesel Emissions. *Technical Congress* 1-13.
- Lambrecht, U. (2005). Analyse an einer Autobahn-Messstelle." U. IFEU Heidelberg: commissioned by the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety BMU; Heidelberg.
- Lebrec, H., Rober, R., Blot, C., Burleson, G.R., Buhon and Pallardy, M. (1995). Immunotoxicological investigation using pharmaceutical drugs. In vitro evaluation of immune effects using rodent or human immune cells. *Toxicology* 96 (2), 147-56.
- Leela, T., Naresh, B., Srikanth Reddy, S., Madhusudhan, N and Cherku, P. (2011). Morphological, physico-chemical and micropropagation studies in *Jatropha curcas* L. and RAPD analysis of the regenerants. *Applied Energy* 88, 2071-2079.
- Lema, M.J., González, G., G-Pimentel, S. y Rodríguez, P. (2005). Comparación de dos cultivos indicadores de la disponibilidad de metales pesados. http://www.efa-ip.org/comun/publicaciones/comunicaciones/005/metales_pesados.pdf.
- Leuenberger, H. and Wohlgemuth, N. (2007). Biofuels and energy security in Africa. UNIDO. Disponible en http://www.gfse.at/fileadmin/dam/gfse/gfse%206/PLENARY_IV/GFSE2006.pdf
- Levis, Y., Sherer, Y., Bibi, H., Schlesinger, M. and Hass, E. (2000). Rare *Jatropha multifida* intoxication in two children. *Journal of Emergency Medicine* 19, 173-175.

Ley 53/2002, de 30 de diciembre de Medidas Fiscales, Administrativas y de Orden Social. BOE núm. 313 de 31.12.2002, pp. 46086- 46191

Ley 38/1992, de 28 de diciembre, de Impuestos Especiales. BOE núm.312 de 29.12.1992, pp. 44305 a 44331.

Li, M.R., Li, M.Q. and Wu, G.J. (2006). Study on factors influencing agrobacterium-mediated transformation of *Jatropha curcas*. *Fen Zi Xi Bao Sheng Wu Xue Bao* 39, 83–89.

Li, C., Rakshit, K., Liu, J., Jian-Min, L.V., Makkar, H.P. and Becker, K. (2009). Toxicity of *Jatropha curcas* phorbol esters in mice. *Food and Chemical Toxicology* 48, 620-625.

Li, Z., Lin, B.L., Zhao, X., Sagisaka, M. and Shibasaki, R. (2010). System approach for evaluating the potential yield and plantation of *Jatropha curcas* L. on a global scale. *Environmental Science and Technology* 44, 2204–2209.

Libro Verde sobre el comercio de los derechos de emisión de GEI en la Unión Europea [COM (2000) 87 final- no publicado en el Diario Oficial].

Libro Verde de la Comisión al Consejo, al Parlamento Europeo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones- Adaptación al cambio climático en Europa: Opciones de actuación para la UE. COM (2007) 354 final, de 29 de junio de 2007. (No publicado en el Diario Oficial).

Lin, J., Yan, F., Tang, L. and Chen, F. (2003). Antitumor effects of curcumin from seeds of *Jatropha curcas*. *Acta Pharmacology Sinica*. 24 (3), 241 -246.

Lin, Y.H., Huang, A.H. and Yu, C. (1986). Substrate specificities of lipases from corn and other seeds. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 244, 346–356.

- Liener, I. E. (1997). Antinutrients and phytochemicals in food. *American Chemical Society* 3, 31–43.
- Liu, B., Yao, L., Wang, W., Gao, J., Chen, F., Wang, S., Xu, Y., Tang, L. and Jia, Y. (2009). Molecular cloning and characterization of phospholipase D from *Jatropha curcas*. *Molecular Biology Reports* 37 (2), 939-946.
- López, J.M., Aparicio, F., Flores, N. y Jiménez, F. (2010). Análisis comparativo de las emisiones contaminantes de los diferentes tipos de autobuses según su norma anticontaminante en ciclo de conducción real. Instituto de Investigación del automóvil. Universidad Politécnica de Madrid.
- Lord, J.M. and Roberts, L.M. (1996). The intracellular transport of ricin: Why mammalian cells are killed and how ricinus cells survive. *Plant Physiology Biochemistry* 34, 253-261.
- Ma, L. (1995) Ricin disturbs calcium homeostasis in the rabbit heart. *Journal Biochemistry Toxicology* 10, 323-328.
- Maciel, F.M., Laberty, M.A., Oliveira, N.L., Felix, S.P., Soares, A.M., Vericimo, M.A. and Tavares, O.L.(2009). A new 2S albumin from *Jatropha curcas* L. seeds and assessment of its allergenic properties. *Peptides* 30 (12), 2103-2107.
- Maes, W. H., Achten, W. M. J and Muys, B. (2009). Use of inadequate data and methodological errors lead to an overestimation of the water footprint of *Jatropha curcas*. *Proceedings of National Academy of Science* 106 (34) E91
- Mahanta, N., Gupta, A. and Khare, S.K. (2008). Production of protease and lipase by solvent tolerant *Pseudomonas aeruginosa* PseA in solid-state fermentation using *Jatropha curcas* seed cake as substrate. *Bioresources Technology* 99, 1729–1735.

- MCKINSEY & COMPANY. (2009). India tops MCKINSEY & COMPANY energy report. Disponible en <http://www.electric.co.uk/news/india-tops-mckinsey-company-energy-report-12341366.html>
- Makkar, H.P.S., Becker, K., Sporer, F. and Wink, M. (1997). Studies on nutritive potencial and toxic constituents of different provenances of *Jatropha curcas*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 45, 3152–3157.
- Makkar, H.P.S. and Becker, K. (1999). Plant toxins and detoxification methods to improve feed quality of tropical seeds. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 12, 467–80.
- Makkar, H.P.S., Becker, K. and Schmook, B. (1998). Edible provenances of *Jatropha curcas* from Quintana Roo state of Mexico and effect of roasting on antinutrient and toxic factors in seeds. *Plant Foods for Human Nutrition* 52, 31–36.
- Makkar, H.P.S. and Becker, K. (1999). Toxic Plants and other natural toxicants. Garland, T. and Catherine, Barr, A.C. (Eds.) CAB International, New York, USA, pp. 554-558.
- Mao, W.L. Goncharov, A., Struzhkin, V., Guo, Q., Hu, J., Shu, J., Hemley, R., Somayazulu, M. and Zao, Y. (2002) Hydrogen Clusters in Clathrate Hydrate. *Science* 297 (5590), 2247-2249.
- MARM (2006). Plan Nacional de Asignación 2008-2012 de GEI. *Ambienta* 60, 22-25.
- MARM (2008). “Paquete energía y cambio climático”. Disponible: http://www.mma.es/secciones/cambio_climatico/pdf/not_paq_dic08.pdf
- MARM (2008) “Plan Nacional de Adaptación al Cambio climático” Disponible en: http://www.mma.es/portal/secciones/cambio_climatico/documentacion_cc/divulgacion/pdf/pnacc.pdf

- MARM (2011). Guía para el cálculo de la huella de carbono de la organización en su alcance 1+2 y para la elaboración de un plan de mejora. Oficina Española de Cambio Climático.
- Martinez, B. y Rincon F. (1997). Inhibidores de tripsina. II: Efectos del procesado y métodos de determinación. *Alimentaria* 279, 33-38.
- Martinez-Herrera, J., Martinez-Ayala, A.L., Makkar, H.P., Francis, G. and Becker, K. (2010). Agroclimatic conditions, chemical and nutritional characterization of different provenances of *Jatropha curcas* L. from México. *European Journal of Science Research* 39, 396-407.
- Mathias, E. (2007). Ethnoveterinary medicine in the era of evidence based medicine: Mumbo-jumbo or a valuable resource? *The Veterinary Journal* 173, 241-242.
- Meagher, R. B.(2000). Phytoremediation of toxic elemental and organic pollutants. *Current Opinion in Plant Biology* 3, 153-162.
- Menezes, R.G., Rao, N.G., Karanth, S.S., Kamath, A., Manipady, S. and Pillay, V.V. (2006). *Jatropha curcas* poisoning. *Indian Journal of Pediatrics* 73 (7) 634.
- Metzger, P. and Largeau, C. (2005). *Botryococcus braunii*: a rich source for hydrocarbons and related ether lipids. *Applied Microbiology and Biotechnology* 66 (5), 486-496.
- Micromedex (1974-1994). International Programme on Chemical Safety. Disponible en www.inchem.org.
- Miralles de Imperial, R., Beltran, E., Porcel, MA., Delgado, M., Beringola, L., Valero, J., Calvo, R. and Walter, I. (2002). Emergencia de seis cultivos tratados con lodo, fresco y compostado, de estaciones depuradoras. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 18 (3), 139-146.

- Mitchel, D. (2008). Biocombustibles: Una promesa y algunos riesgos. Disponible en: http://siteresources.worldbank.org/INTWDR2008/Resources/2795087-1191440805557/4249101-1191956789635/02_biocombustibles.pdf. In: Agricultura para el Desarrollo. Banco Mundial.
- Molina, L.T. and Molina, M.J. (2002). Air quality in the Mexico Megacity: An integrated assessment. Kluwer Academic Publishers. Massachusetts Institute of Technology. Cambridge, MA, U.S.A.
- Monbiot, G. (2008). "Apart from used chip fat, there is no such thing as a sustainable biofuel". *THE GUARDIAN*. Disponible en: <http://www.oilempire.us/biofuels.html>.
- Monteiro-Riviere, S., Warheit, D. and Yang, H. (2005). Principles for characterizing the potential human health effects from the exposure to nanomaterials: elements of a screening strategy. *Particle and Fibre Toxicology* 2 (8), 1-35.
- Monteiro, M.V. Bevilaqua, C. Palha, M.D. Braga, R., Schwanke, K., Rodrigues, S and Lameira, O. (2011). Ethnoveterinary knowledge of the inhabitants of Marajó Island, Eastern Amazonia, Brazil. *Acta Amazónica* 41 (2), 233-242.
- Moreira, R., Ainouz, I., Abreu de Oliveira, J. y Cavada, B. (1991). Plant lectins, chemical and biological aspects. *Memorias Instituto Oswaldo Cruz* 86 (11), 211-218.
- Narocki, C. (2006). Nanotecnologías "El uso de de pequeñas partículas promete mucho pero puede presentar grandes peligros" *ISTAS* 34. Disponible en: <http://www.istas.net/pe/articulo.asp?num=34&pag=04&titulo=Nanotecnologias>.
- NASA (2010). Global Climate Change: NASA's eye on the Earth. Disponible en: <http://climate.nasa.gov/Eyes/>

- Nawrot, T.S., Staessen, J.A., Roels, H.A., Munters, E., Cuypers, A., Richard, T., Ruttens, A., Smeets, K., Clijster, H. and Vangrosveld, J. (2010). Cadmium exposure in the population: from health risks to strategies of prevention. *Biomaterials* 23, 769-782.
- Ndong, R., Vignoles, M., Saint-Girons, O., Gabrielle, B., Pirot, R., Domergue, M. and Sablayrolles, C. (2009). Life cycle assessment of biofuels from *Jatropha curcas* in West Africa: a field study. *Global Change Biology Bioenergy* 1 (3), 197-210.
- Neelakantan, I.F.S. (2002). *Jatropha curcas*. Disponible en: <http://www.tnau.ac.in/tech/swc/jatropha.pdf>
- NGRI (2004). National Geo-physical Research Institute Project Report. Inventorisation of contaminated sites in India.
- Nohynek, G.J., Lademann, J., Ribaud, C. and Roberts, M.S. (2007). Grey goo on the skin? Nanotechnology, cosmetic and sunscreen safety. *Critical Reviews in Toxicology* 37, 251-277.
- Norton, B. (1984). Environmental ethics and weak anthropocentrism. *Environmental Ethics* 6, 131-48.
- Nuanchawee, W., Threesangsgri, W., Klamklai, N. and Chulavatnatol, M. (2000). Jackfruit Lectine: properties of Mitogenecity and the Inhibition of Herpervirus Infection. *Journal of Infectious Disease* 53, 156-161.
- Oberdörster, G., Finkelstein, J.N., Johnston, C., Gelein, R., Cox, C., Baggs, R. and Elder, A.C.P. (2000). Acute pulmonary effects of ultrafine particles in rats and mice. *HEI Research Report* 96. Disponible en: www.healtheffects.org/pubs-research.htm.
- Oberdörster, G., Sharp, Z., Atudorei, V., Elder, A.C.P., Gelein, R., Lunts, A., Kreyling, W. and Cox, C. (2002). Extrapulmonary translocation of ultrafine carbon particles following whole-body inhalation exposure of rats. *Journal of Toxicology and Environmental Health* 65A, 1531-1543.

- Oberdörster, G., Oberdörster, E. and Oberdörster, J. (2005). Nanotoxicology: An emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles. *Environmental Health Perspectives* 113, 823-839.
- Oberdörster, G., Maynard, A., Donaldson, K., Castranova, V., Fitzpatrick, J., Ausman, K., Carter, J., Karn, B., Kreyling, W., Lai, D., Olin, S., OCDE (2007). Biofuels for Transport: Policies and Possibilities (Policy Brief). Disponible en: www.oecd.org/dataoecd/18/8/39718027.pdf.
- OCDE-FAO (2007). Global Agricultural Outlook. Disponible en: www.oecd.org/dataoecd/6/10/38893266.pdf
- OCDE (2008). Developments in Bioenergy Production Across the World - Electricity, Heat and Second Generation Biofuels. Disponible en: www.oecd.org/ff/?404;http://www.oecd.org/bioenergy
- OCDE (2008). Biofuel Support Policies: An Economic Assessment. OECD Publishing, pp. 1-146. ISBN: 9789264049222.
- OCDE-FAO (2011). Global Agricultural Outlook. Disponible en: <http://www.agri-outlook.org/dataoecd/23/56/48178823.pdf>
- OCTAGÓN BIOCOMBUSTIBLES (2006). *Jatropha curcas* L. su expansión agrícola para la producción de aceites vegetales con fines de comercialización energética. Guatemala, pp. 1-42.
- Olapecu, O.A., Kayode, A., Olusegun, E. and James, B.G. (2007). Antibacterial diterpenoids from *Jatropha podagrica* Hook. *Phytochemistry* 68, 2420-2425.
- Openshaw, K. (2000). A review of *Jatropha curcas*: an oil plant of unfulfilled promise. *Biomass and Bioenergy* 19, 1-15.
- ORDEN ITC/2877/2008, de 9 de octubre, por la que se establece un mecanismo de fomento del uso de biocarburantes y otros combustibles renovables con fines de transporte. 14 Octubre 2008 BOE nº 248, pp. 41170-41175

- Osoniyi, O. and Onayobi, F. (2003). Coagulant and anticoagulant activities in *Jatropha curcas* latex. *Journal of Ethnopharmacology* 89 101–105.
- Osorio, C. (2000). Ética y educación en valores sobre el Medio Ambiente para el siglo XXI. Organización Estados Americanos. Disponible en: <http://www.oei.es/valores2/boletin11.htm>.
- Ostiguy, C., Soucy, B., Lapointe, G., Woods, C., Ménard, L. and Trottier, M. (2008). Health Effects of Nanoparticles. Studies and Research Projects. R- 589. IRSST. 2ªEdición.
- Otero, C. (2007). El CSIC obtiene biodiesel de forma más rápida y menos contaminante. Disponible en: <http://energela.com/biocarburantes/.html>
- Ovando-Medina, I., Espinosa-Garcia, F., Nunez-Farfan, J. and Salvador-Figueroa, M. (2011). Genetic Variation in Mexican *Jatropha curcas* L. estimated with Seed Oil Fatty Acids. *Journal of Oleo Science* 60 (6), 301-311.
- Pabón Garcés, G. (2008) Estudio de las características botánicas y etno botánicas de la jatropa. *Cultivos energéticos alternativos*. Accesible en www.oleoecuador.com/index2.
- Pamidimarri, S.D.V., Singh, S., Mastan, S.G., Patel, J. and Reddy, M.P. (2009). Molecular characterization and identification of markers for toxic and non-toxic varieties of *Jatropha curcas* L. using RAPD, AFLP and SSR markers. *Molecular Biology Reports* 36, 1357-1364.
- Pamidimarri, S.D.V., Balaji C, Reddy, M.P. (2009a). Genetic divergence and phylogenetic analysis of genus *Jatropha* based on nuclear ribosomal DNA ITS sequence. *Molecular Biology Reports* 36, 1929-1935.
- Pamidimarri, S.D.V., Pandya, N., Reddy, M.P. and Radhakrishnan, T. (2009). Comparative Study of interespecific genetic divergence and phylogenetic analysis of genus *Jatropha* by RADP and AFLP. *Molecular Biology Reports* 36, 901–907.

- Pant, K.S., Kumar, D., Gairola, S. (2006). Seed oil content variation in *Jatropha curcas* L. in different altitudinal ranges and site conditions in H.P. India. *Lyonia* 11, 31-34.
- Patil, V.R. (2006). *Jatropha-An Alternative to Diesel Agriculture & Industry Survey*. Vadamalai Media Group, Bangalore, 13, 5.
- Patolia, J.S., Ghosh, A., Chikara, J., Chaudhary, D.R., Parmar, D.R. and Bhuva, H.M. (2007). Response of *Jatropha curcas* brown on wasteland to N and P fertilization. In: FACT seminar on *Jatropha curcas* L. agronomy and genetics, Wageningen, The Netherlands. Wageningen: *FACT Foundation* 34, 1-6.
- Pender, J. (2001). The World Bank, Poverty Reduction and the Redefinition of “successful states”, The Conference of the British International Studies Association.
- Pereira Leite, S. (2001). The International Monetary Fund and Human Rights. *LE MONDE*, 4 de Septiembre.
- Peters, J. and Thielmann, S. (2008). Promoting biofuels: Implications for developing countries. *Energy Policy* 36, 1538–1544.
- Pfuderer, S., Davies, G. and Mitchell, I. (2010). The role of demand for biofuel in the agricultural commodity price spikes of 2007/08. (DEFRA- UK).
- Physical Geographic Fundamentals (2009). Disponible en <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/7a.html>
- PNUMA (2009) “Towards sustainable production and use of Resources: Assessing Biofuels” Bringezu, S., Schuz, H., O'Brien, M., Kauppi, L., Howarth, R. and McNeely, J. ISBN 978.92-807-3052-4.
- Polyak, L., Alley, R.B., Andrews, J.T., Brigham-Grette, J., Cronin, T.M., Darby, D.A., Dyke, A.S., Fitzpatrick, J.J., Funder, S., Holland, M., Jennings, A.E., Miller, G.H., O'Regan, M., Savelle, J., Serreze, M., St. John, K., White, J.W. and Wolff, E. (2010). History of sea ice in the Artic. *Quaternary Science Reviews* 29, 1757-1778.

- Pope, C.A., Burnett, R.T., Thun, M.J., Calle, E.E., Krewski, D. and Ito, K. (2002). Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *Journal of the American Medical Association* 287, 1132-1141.
- Pramanik, K. (2003). Properties and use of *Jatropha curcas* L. oil and diesel fuel blends in compression ignition engine. *Renewable Energy* 28, 239-248.
- Pulskamp, K., Diabaté, S. and Krug, H.F. (2007). Carbon nanotubes show no sign of acute toxicity but induce intracellular reactive oxygen species independence on contaminants. *Toxicology Letters* 168, 58-74.
- Quintana, V. (2007). "Biocombustibles y Agricultura campesina". Disponible en www.ircamericas.org/esp/4463
- Rajagopal, D. (2007). Rethinking current strategies for Biofuels production in India. *Rural Sociology* 68 (2), 153-181.
- Raju, K.V. (2006). Biofuels in South Asia: An overview. *Asian Biotechnology and Development Review* 8 (2), 1-9.
- Rakshit, K.D., Madhvi, D. and Bhagya, S. (2006). *Jatropha curcas* – a potential source of protein in food/feed. In: Symposium on Rural Food and Nutrition. Organized by Sole Company and Central Food Technological Research Institute, Mysore, India.
- Rakshit, K.D., Darukeshwara, J., Rathina Raj, K., Narasimhamurthyb, P. Saibaba, S. and Bhagya. (2008). Toxicity studies of detoxified *Jatropha* meal (*Jatropha curcas*) in rats. *Food and Chemical Toxicology* 46, 3621-3625.
- Ramanathan, V. and Carmichael, G. (2008). Global and Regional climate change due to black carbon. *Nature Geoscience* 1, 221-222.

- Ramesh, D., Samapathrajan, A., and Venkatachalam, P. (2002). Production of biodiesel from *jatropha curcas* oil by using pilot biodiesel plant. Tamil Nadu Agricultural University. Disponible en: www.jatropha.de/Journal/Pilot_Plant_for_Biodiesel-leaflet1.pdf.
- Ravishankara, A.R., Daniel, J.S. and Robert, W. (2009). Nitrous Oxide Ozone-Depleting Substance Emitted in the 21st Century. *Science* 326, 123.
- Real Decreto 1700/2003, de 15 de diciembre, por el que se fijan las especificaciones de gasolinas, gasóleos, fuelóleos y gases licuados del petróleo, y el uso de biocarburantes. BOE núm. 307 de 24.12.2003, pp. 45961-45982.
- Real Decreto 1739/2003, de 19 de diciembre, por el que se modifican el Reglamento de los Impuestos Especiales, aprobado por el Real Decreto 1165/1995, de 7 de julio, y el Real Decreto 3485/2000, de 29 de diciembre. BOE num. 11 de 03.01. 2004, pp. 1056-1067.
- Real Decreto 61/2006, de 31 de enero, por el que se determinan las especificaciones de gasolinas, gasóleos, fuelóleos y gases licuados del petróleo y se regula el uso de determinados biocarburantes. BOE núm. 41 de 17.02.2006, pp. 6342-6357.
- Real Decreto 1027/2006, de 15 de septiembre, por el que se modifica el Real Decreto 61/2006, de 31 de enero, en lo relativo al contenido de azufre de los combustibles para uso marítimo. BOE núm. 232 de 28.09.2006, pp. 33889-33891.
- Real Decreto 1088/2010, de 3 de septiembre, por el que se modifica el Real Decreto 61/2006, de 31 de enero, en lo relativo a las especificaciones técnicas de gasolinas, gasóleos, utilización de biocarburantes y contenido de azufre de los combustibles para uso marítimo. Disposición 13704 del BOE núm. 215 de 4.09.2010, pp. 76436-76445.
- Reddy, N. R. and Shridhar, K. (2001). Food Phytate. CRC. Boca Raton. ISBN 1-56676-867-.

Reglamento (CE) n° 1907/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de diciembre de 2006, relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y preparados químicos (REACH), por el que se crea la Agencia Europea de Sustancias y Preparados Químicos (ECHA). Publicado en el DO L 136, de 29.05.2007, pp. 3-279.

Reglamento (UE) n° 82/2010 de la comisión de 28 de enero de 2010 que modifica el Reglamento (CE) n° 748/2009 sobre la lista de operadores de aeronaves que han realizado una actividad de aviación enumerada en el anexo i de la directiva 2003/87/CE el 1 de enero de 2006 o a partir de esta fecha, en la que se especifica el estado miembro responsable de la gestión de cada operador. DOUE L 25 de 29.1.2010, pp. 12-120.

Reich, E. (1978). Activation of plasminogen: A widespread mechanism for generating localised extracellular proteolysis. In R. W. Ruddon (ed.), Biological markers of neoplasia, basic and applied aspects (Ed. R. W. Ruddon), Elsevier New York, pp.491-500.

Reinhardt, G., Gartner, S., Rettenmaier, N., Munch, J. and Falkenstein, E. (2007). Screening life cycle assessment of Jatropha biodiesel. Final Report, Institute for Energy and Environmental Research Heidelberg,

RIRDC (2007). Biofuels in Australia. *Issues and prospects* 1, 74151- 74673.

Robles-Medina, A., Gonzales-Moreno, P.A., Esteban-Cerdan, L. and Molina-Grima, E. (2009). Biocatalysis: towards ever greener biodiesel production. *Biotechnology Advances* 27, 398-408.

Rodriguez, B. (2009). La Jatrofa puede convertir Senegal en el granero de biodiesel de Europa. LA REGIÓN. Disponible en: <http://www.laregion.es/noticia/102183/senegal/jatrofa/biocar>

Rojas Bracho, L. y Garibay Bravo, V. (2003). Las partículas suspendidas, aeropartículas o aerosoles. ¿Hacen daño a la salud?; ¿Podemos hacer algo? *Gaceta Ecológica* 69, 29-44.

- Rug, M. and Ruppel, A. (2000). Toxic activities of the plant *Jatropha curcas* against intermediate snail host and larvae of schistosomes. *Tropical Medicine and International Health* 5 (6), 423–430.
- Saetae, D. and Suntornsuk, W. (2011). Toxic compound, anti-nutritional factors and functional properties of protein isolated from detoxified *Jatropha curcas* seed cake. *International Journal of Molecular Sciences* 12, 66-77.
- Salort, M.R., Ortega, J.E., Sbarato, D. y Campos, J.M. (2007). Efectos sobre la salud de la contaminación por material particulado atmosférico: revisión bibliográfica. Disponible en:
<http://www.sbarato.com.ar/archivos/cisa01.pdf>
- Sasakawa, N., Sharif, M. and Hanley, M.R. (1995). Metabolism and biological activities of inositol pentakisphosphate and inositol hexakisphosphate». *Biochemistry and Pharmacology* 50 (2), 137–146.
- SCENIHR (2005). The Appropriateness of the Risk Assessment Methodology in Accordance with the Technical Guidance Document for New and Existing Substances for Assessing the Risk of Nanomaterials. En:http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04-scenihhr/docs/scenihhr_o_010.pdf.
- SCENIHR (2010). The appropriateness of existing methodologies to assess the potential risks associated with engineered and adventitious products of nanotechnologies. 02/05. Disponible en http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scenihhr/docs/scenihhr_o_003b.pdf
- Schneider, J., Hock, N., Weimer, S. and Borrmann, S. (2005). Nucleation particles in diesel exhaust: Composition inferred from in situ mass spectrometric analysis. *Environmental Science and Technology* 39, 6153 - 6161.
- Schwarz, H., Valbracht, J., Tuckwell, J., Kempis, J. and Kotz, M. (1995). ILA, the human 4-IBB homologue, is inducible in lymphoid and other cell lines. *Cancer Letters* 107 (2), 285-291.

- Segerson, E.C. (1995). Immunosuppressive activity of a porcine high molecular weight uterine macromolecule is associated with transforming growth factor-beta. *Journal of Reproductive Immunology* 29(1), 47-60.
- Seipenbusch, M., Binder, A. and Kasper, G. (2008). Temporal Evolution of Nanoparticle Aerosols in Workplace Exposure. *Annals of Occupational Hygiene* 52 (8), 707-716.
- Sen, A. (2009). La idea de la justicia. Santillana Ediciones Generales. Madrid. ISBN: 978-84-306-0686-3.
- Shah, S., Sharma, A. and Gupta, M.N. (2004). Extraction of oil from *Jatropha curcas* L. seed kernels by enzyme assisted three phase partitioning. *Industrial Crops and Products* 20, 275-279.
- Shah, S., Sharma, A. and Gupta, M.N. (2005). Extraction of oil from *Jatropha curcas* L. seed kernels by combination of ultrasonication and aqueous enzymatic oil extraction. *Bioresource Technology* 96, 121-123.
- Shanker, C. and Dhyani, S.K. (2006). Insect pests of *Jatropha curcas* L. and the potencial for their management. *Current Science* 91, 162-163.
- Shindell, D. and Faluvegi, G. (2009). Climate response to regional radioactive forcing during the twentieth century. *Nature Geoscience* 2, 294-300.
- Singer, P. (2009). Ética Práctica. Melbourne: Cambridge University Press. Ed. AKAL, pp. 1-490.
- Singh, R.N., Vyas, D.K., Srivastava, N.S.L. and Narra, M. (2008). SPRERI experience on holistic approach to utilize all parts of *Jatropha curcas* L. fruit for energy. *Renewable Energy* 33, 1868-1873.
- Smith, S. R. (1994). Effect of soil pH on availability to crops of metals in sewage sludge treated soils. I. Nickel, copper and zinc uptake and toxicity to ryegrass. *Environmental Pollution* 85, 321-327.

- SNV-WWF (2009). Impactos socio-económicos de la producción de biocombustibles en la amazonía peruana. Análisis de las cadenas de Caña de azúcar, Palma aceitera y Piñon blanco (*Jatropha Curcas* L.). Depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2009-14466
- Spolaore, P., Joannis-Cassan, C., Duran, E. and Isambert, A. (2006). Commercial applications of *microalgae*. *Journal of Bioscience and Bioenergie* 101, 87–96.
- Srivastava, P. (2010). Evaluation of soil carbon sequestration potencial of *Jatropha curcas* L. plantations growing in varying soil conditions. *PhD synopsis* submitted to University of Lucknow.
- Staubmann, R., Ncube, I., Gubitz, G.M., Steiner, W. and Read, J.S. (1999). Esterase and lipase activity in *Jatropha curcas* L. Seeds. *Journal of Biotechnology* 75, 117–126.
- Stavins, (2005). Implications of the US experience with market-based environmental strategies for future climate policy. In: Emissions trading for Climate Policy in US and Europe Perspective. Cambridge University Press. Edited by Bernd Hansjürgens, pp 1-249.
- Stern, N. (2006). An economic assessment of the impacts of climate change. *Treasury Department, UK*, pp. 1-700.
- Stern, S.T. and McNeil, S.E. (2008). Nanotechnology Safety Concerns Revisited. *Toxicological Sciences* 101 (1), 4-21.
- Stripe, F., Pession-brizzi, A., Lorenzoni, E., Strocchi, L., Montanaro, L., and Sperti, S., (1976). Studies of the proteins from the seeds of *Croton tiglium* and of *Jatropha curcas*. *Biochemistry Journal* 156, 1–6.
- Sujatha, M., Reddy, T.P. and Mahasi, M.J. (2008). Role of biotechnological interventions in the improvement of castor (*Ricinus communis* L.) and *Jatropha curcas* L. *Biotechnology Advances* 26, 424–435.

- Sunil, N., Sujatha, M., Kumar, V., Vanaja, M., Basha, S.D. and Varaprasad, K.S. (2011). Correlating the phenotypic and molecular diversity in *Jatropha curcas* L. *Biomass and Bioenergy* 35, 1085-1096.
- Sunita, K., Kochar, V.K., Singh, S.P., Katiyar, R.S. and Pushpangadan, P. (2005). Differential rooting and sprouting behaviour of two *Jatropha* species and associated physiological and biochemical changes. *Current Science* 89, 936-939.
- Schwartz, J. (1994). Air pollution and daily Mortality: A review and Meta Analysis. *Environmental Research* 64, 36-52.
- Thomas, R., Sah, N.K. and Sharma, P.B. (2008). Therapeutic biology of *Jatropha curcas*: A mini Review. *Current Pharmaceutical Biotechnology* 9, 315-324.
- Téllez, M., Romieu, I., Peña, M., Ruiz, S., Meneses, F. y Hernandez, M. (1997). Efecto de la contaminación ambiental sobre las consultas por infecciones respiratorias en niños de la ciudad de México. *Salud Pública de México*. 39, 006.
- Testa, U., Titeux, M., Louache, F., Thompoulos, P. and Rochant, H. (1984). Effect of phorbol esters on iron uptake in human hematopoietic cell lines. *Cancer Research* 44, 4981-4986.
- Tewari, D.N. (2007). *Jatropha* and Biodiesel. 1st edition. New Delhi: Ocean Books Ltd.
- Tiwari, A.K., Kumar, A. and Raheman, H. (2007). Biodiesel production from *Jatropha* (*Jatropha curcas*) with high free fatty acids: an optimized process. *Biomass and Bioenergy* 31, 569-75.
- Tilman, D., Socolow, R., Foley, J.A., Hill, J., Larson, E., Lynd, L., Pacala, S., Reilly, J., Searchinger, T. and Somerville, C. (2009). Beneficial Biofuels. The Food, Energy, and Environment Trilemma. *Science* 325, 270-271.

- Tobalina, B. (2010). La hora del biofuel de «tercera generación». Disponible en <http://www.biodieselspain.com/2010/06/09/>
- Tol, R. and Verheyen, R. (2004). State Responsibility and Compensation for Climate Change Damages. A Legal and Economic Assessment. *Energy Policy* 32, 1109, 1109.
- Toral, O., Iglesias, J., Montes de Oca, S., Sotolongo, J.A., García, S. y Torsti, M. (2008). *Jatropha curcas* L. Una especie con potencial energético en Cuba. *Pastos y Forrajes* 31 (3), 191-207.
- Torres, C. (2007). *Jatropha curcas. Desarrollo fisiológico y técnico*. Cultivos Energéticos SRL, Cooperativa. Agropecuario El Rosario, Argentina. Disponible en: <http://www.jatrophacurcasweb.com.ar/>
- UN (1992). Agenda 21 In: Report of the United Nations Conference on Environment and Development, Rio de Janeiro, 3 1. Resolutions Adopted by the Conference, Annex II. A/CONF.151/26/Rev.1 (Vol. I).
- UN (2004). Statistical data accessed from UN Millennium indicators database. Disponible en <http://unstats.un.org/>.
- UNFPA (2007). Estado de la población mundial. Foro de Población de las NNUU
- US Biomass Research & Development Board, (2008) “National Action Plan on Biofuels”.
- US Congressional Research Service (2009). Yacobucci, B. “Biofuels Incentives: A Summary of Federal Programs” 7-5700.
- USDA (2006). China's net import of crude oil up 17.6 percent year on year in first half. Disponible en http://www.usda.gov/oce/commodity/archive_projections/USDAgriculturalProjections2020.pdf
- USDA Database (2010). Foreign Agricultural Service; Production, Supply and Distribution [PSD] database. Disponible en: <http://www.fas.usda.gov/psdonline>.

- USDOE (2007). The Advanced Energy Initiative. *Journal of power sources* 172 (1), 121-131.
- USDOE (2010). "Growing America's Fuel" An Innovation Approach to Achieving the President's Biofuels Target Disponible en: http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/rss_viewer/growing_americas_fuels.PDF
- USEPA (2010). "Energy, Biofuels & Climate Change". Disponible en <http://www.epa.gov/Sustainability/energy.htm>
- USEPA (2007). Diesel Oxidation Catalysts: Informational Update; EPA420-F-07-068, Disponible en : http://epa.gov/otaq/diesel/documents/420f07_068.htm
- USEPA (2009). Integrated Science Assessment for Particulate Matter (Final report). Disponible en <http://cfpub.epa.gov/ncea/cfm/recordisplay.cfm?deid=210586#Download>
- VETIFARMA (2007). Inhibidor de tripsina. Disponible en: <http://www.vetifarma.com.ar/vetinews/interesgeneral.php?dest=4>
- Vila Jato, J.L. (2006). Nanotecnología farmacéutica: Una galénica emergente. Discurso de entrada en la Real Academia Nacional de Farmacia.
- Villaroel, R. (2007). Ética y Medio Ambiente. Ensayo de hermenéutica referida al entorno. *Revista de Filosofía* 63. 55-72.
- Villegas, L.F., Fernandez, D., Maldonado, H., Torres, R., Zavaleta, A., Vaisberg, A. J. and Hammond, G. (1997). Evaluation of the wound-healing activity of selected traditional medicinal plants from Peru. *Journal of Ethnopharmacology* 55, 193-200.
- Vyas, D.K. and Singh, R.N. (2007). Feasibility study of *Jatropha* seed husk as an open core gasifier feedstock. *Renewable Energy* 32, 512-7.

- Von Braun, J. and Pachauri, R.K. (2006). The Promises and Challenges of Biofuels for the Poor in Developing Countries: IFPRI 2005–2006 Annual Report Essay. International Food Policy Research Institute (IFPRI), Washington, D.C.
- Von Braun, J. (2008). High and Rising Food Prices. Disponible en: <http://www.ifpri.org/sites/default/files/pubs/presentations/20080411jvbfoodprices.pdf>
- Wang, X., Zheng, Z., Gan, X. and Hu, L. (2009). Jatrothalactam, A. Novel Diterpenoid Lactam Isolated from *Jatropha curcas* . *Organic letters* 11 (23), 5522-5524.
- Warren, K. (2000). Ecofeminist Philosophy. A western perspective on what it is and why it matters. Cumnor Hill: Oxford. Rowman & Littlefield Publishers.
- Weinstein, I. B., Lee, L., Fisher, P., Mufson, A. and Yamasaki, H. (1979). Action of phorbol esters in cell culture: mimicry of transformation, altered differentiation, and effects on cell membranes. *Journal of Supramolecular Structure*. 12, 195–208.
- WHO (2002) Air Quality Guidelines. Disponible en: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/74732/E71922.pdf
- WHO (2005) Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide - *Global update 2005*.
- Wigler, M., DeFeo, D. and Weinstein, B. (1978). Induction of plasminogen activator in cultured cells by macrocyclic plant diterpene esters and other agents related to tumor promotion. *Cancer Research* 38, 1434–1437.
- WWI (2007). State of the world 2007: Our Urban Future. Disponible en: <http://www.worldwatch.org/node/4752>.
- Wright, J. (2003). Environmental Chemistry. Routledge; 1st edition ISBN-10: 0415226015

- Wu, Q., Shizhong, W., Palaniswamy, T., Qingfei, L., Han, Z., Jun, B., and Rongliang, Q. (2011). *Phytostabilization Potential of Jatropha Curcas L. in Polymetallic Acid Mine Tailings. International Journal of Phytoremediation* 13 (8), 788-804.
- Wunderlin, R.P., and Hansen, B.F. (2002). *Atlas of Florida vascular plants*.
- Xiao, J., Zhang, H., Niu, L., Wang, X. and Lu, X. (2011). Evaluation of Detoxification Methods on Toxic and Antinutritional Composition and Nutritional Quality of Proteins in *Jatropha curcas* Meal. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 59, 4040–4044.
- Xiao, J., Zhang, H., Niu, L. and Wang, X. (2011). Efficient Screening of a Novel Antimicrobial Peptide from *Jatropha curcas* by Cell Membrane Affinity Chromatography. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 59, 1145–1151.
- York, J.D., Odom, A.R., Murphy, R., Ives, E.B. and Went, S.R. (1999). A phospholipase C-dependent inositol polyphosphate kinase pathway required for efficient messenger RNA export. *Science* 285 (5424), 96–100.
- Zah, R., Böni, H., Gauch, M., Hirsch, R., Lehmann, M. and Wager, P. (2007). *Life Cycle Assessment of energy Products: Environmental Impact Assessment of Biofuels*. Bundesamt für energie BFE.
- Zamarripa, A. y Diaz, G. (2008). Áreas de potencial productivo de piñón *Jatropha Curcas* L., como especie de interés bioenergético en México. Comité Nacional Oleaginosas. Disponible en: http://www.oleaginosas.org/art_211.shtml.
- Zanzi, R., Perez, J.A.S., and Soler, P.B. (2008). Production of Biodiesel from *Jatropha curcas* in the Region of Guantanamo in Cuba. Proc. 3rd International Congress University-Industry Cooperation. Ubatuba, Brazil.

- Zayed, S. M., Farghaly, M., Taha, H., Gotta, H. and Hecker, E. (1998). Dietary cancer risk conditional carcinogens in produce of livestock fed on species of spurge (Euphorbiaceae). I. Skin irritant and tumor-promoting ingenane-type diterpene esters in *E. peplus*, one of several herbaceous Euphorbia species contaminating fodder of livestock. *Journal of Cancer Research and Clinical Oncology* 124, 131–140.
- Zwenger S, Basu C (2008) Plant terpenoids: applications and future potentials. *Biotechnology and Molecular Biology Review* 3, 1–7.